

Digitale tvillinger: Et scoping review om potentielle implementeringsbarrierer i sundhedsvæsenet

Kandidatspeciale, 2024

Klinisk videnskab og teknologi, Aalborg universitet

Gruppe: 10502, Pernille Aagaard

Vejleder: Thomas Kronborg Larsen

Bi-vejleder: Tanja Fredensborg Holm



Billede: <https://forcetechnology.com/da/ydelser/simuleringer-og-cfd/digitale-tvillinger-simulering>.



Titel:

Digitale tvillinger: Et scoping review om potentielle implementeringsbarrierer i sundhedsvæsenet

Tema:

Kandidatspeciale

Projekt:

4. semester
Klinisk videnskab og teknologi
Aalborg Universitet

Projektperiode:

01.02.2024 - 31.05.2024

ETCS:

30

Projektgruppe:

10502

Deltager:

Pernille Aagaard

Vejleder:

Thomas Kronborg Larsen

Bi-vejleder:

Tanja Fredensborg Holm

Sider: 57

Bilag: 5

Referencesystem: Harvard

Resumé**Introduktion**

Den stigende andel af ældre i befolkningen medfører at prævalensen og incidensen af kroniske sygdomme er stigende. Sideløbende opstår flere demografiske udfordringer, som kræver samfundsændringer. Digitalisering og anvendelse af it sigter mod at forbedre kvaliteten i sundhedsvæsenet, herunder forebyggelse og behandling. Avancerede teknologiske løsninger som telemonitorering og kunstig intelligens anvendes allerede, mens digitale tvillinger er under intensiv undersøgelse for dens potentiale i sundhedsvæsenet. Formålet med specialet var at undersøge potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, samt undersøge teknologiens modenhed.

Metode

Specialet bestod af et systematisk scoping review i følgende databaser: PubMed, Embase, IEEE Xplore og Scopus. Endvidere blev der anvendt kæde- og citationssøgning. Studierne skulle være baseret på potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Ud fra de inkluderede studier blev der foretaget en analyse af data, og udarbejdet tematisering.

Resultater

Den systematiske litteratursøgning resulterede i 564 studier, og 1771 studier i kæde- og citations-søgningen. I scoping reviewet blev der inkluderet 14 publicerede studier, hvor der i reviewet blev identificeret otte temaer relateret til potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. De identificerede temaer var: brugerperspektivet, data, teknologisk kompleksitet, etik og databeskyttelsesforordningen (GDPR), økonomi, juridisk ansvar, infrastruktur og integration samt evidens i sundhedsvæsenet.

Konklusion

Det kan konkluderes, at der fremkom variation i troværdigheden af de potentielle barrierer samt hvilke barrierer man først ser hen imod, og dermed skal være opmærksom på. Der blev tillagt størst vægt til brugerperspektivet, data samt teknologisk kompleksitet. I litteraturen kan der ikke fastsættes en tidsramme på, hvornår implementeringen af digitale tvillinger potentielt er klar. Forskningsorganisationer udfører i øjeblikket pilotprojekter af dele til den digitale tvilling, og samtidig arbejdes der på at overvinde fundamentale barrierer.

Title:

Digital twins: A Scoping Review
on potential barriers for implementation
in healthcare

Theme:

Master Thesis

Project:

4th semester
Clinical Science and Technology
Aalborg University

Project period:

01.02.2024 – 31.05.2024

ETCS:

30

Project Group:

10502

Participant:

Pernille Aagaard

Supervisor:

Thomas Kronborg Larsen

Co-supervisor:

Tanja Fredensborg Holm

Pages: 57

Appendix: 5

Reference system: Harvard

Abstract**Introduction**

The increased proportion of aging people in the population leads to a rising prevalence and incidence of chronic diseases. Concurrently, several demographic challenges arise, necessitating societal changes. Digitalization and the utilization of IT aims to enhance the quality of healthcare, including health promotion and treatment. Advanced technological solutions such as telemonitoring and artificial intelligence are already in use, while digital twins are under intensive examination for its potential in healthcare. The aim of the thesis was to investigate the potential barriers for implementation of digital twins in healthcare and investigate the maturity of the technology.

Method

The thesis consisted of a systemic scoping review in the following databases: PubMed, Embase, IEEE Xplore, and Scopus. Additionally, chaining search and citation search were employed. The studies had to be based on potential barriers for implementation for digital twins in healthcare. Based on the included studies, data analysis was conducted, and thematic analysis was developed.

Results

The systematic literature search resulted in 564 studies, and 1771 studies were identified through chaining search and citation search. In the scoping review, 14 published studies were included, and eight themes related to potential barriers for implementation of digital twins in healthcare were identified. The identified themes were user perspective, data, technological complexity, ethics and General Data Protection Regulation (GDPR), economy, legal responsibility, infrastructure and integration, and evidence in healthcare.

Conclusion

It can be concluded that there were found variation in the credibility of the potential barriers and which barriers are prioritized and thereby should focus on. The user perspective, data and technological complexity were given the highest priority. In the literature, it is not possible to determine a timeline for when the implementation of digital twins might be ready. Research organizations are currently conducting pilot projects on parts of the digital twin, and whilst concurrently working to overcome fundamental barriers.

Forord

Dette speciale blev udarbejdet af gruppe 10502, som kandidatspeciale i Klinisk videnskab og teknologi på Aalborg Universitet. Endvidere har specialemedlemmet en klinisk baggrund som sygeplejerske.

Specialet blev udarbejdet i perioden 1. februar 2024 til 31. maj 2024.

Formålet med specialet var at undersøge, herunder kortlægge og gøre opmærksom på potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, samt undersøge teknologiens modenhed. Dette med henblik på, at specialet kan anvendes som en guide til, hvad der potentielt skal tages i betragtning ved udvikling, evaluering og succesfuld implementering af sådan en ny teknologi i sundhedsvæsenet.

Der skal lyde en stor tak til hovedvejleder Thomas Kronborg Larsen, og Bi-vejleder Tanja Fredensborg Holm for konstruktiv feedback og faglig sparring under perioden.

Læsevejledning

I specialet er der anvendt referencesystemet Harvard til håndtering af kilder, hvor kilder med op til tre forfattere er angivet i parentes med deres efternavn samt årstal. Hvis kilder indeholder mere end tre forfattere, er disse angivet i parentes med efternavn af hovedfatteren, "et al." samt årstal. Endvidere hvis samme forfatternavn og årstal udgør flere kilder, er der anvendt notationsrækkefølgen a, b, og c. De anvendte referencer ses i specialets referenceliste i alfabetisk rækkefølge.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning	7
2 Problemanalyse	9
2.1 Demografiske udfordringer	9
2.2 Digitalisering i sundhedsvæsenet	10
2.3 Telemonitorering	10
2.4 Kunstig intelligens	11
2.5 Digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.....	13
2.6 Problemopsummering	16
3 Problemformulering.....	17
4 Metode	17
4.1 Scoping review.....	17
4.1.2 Søgestrategi.....	18
4.1.3 In- og eksklusionskriterier	19
4.1.4 Udvælgelse af studier	20
4.1.5 Kædesøgning.....	20
4.1.6 Citationssøgning	21
4.1.7 Kvalitetsvurdering	21
4.1.8 Analyse af data og tematisering.....	21
5 Resultater.....	24
5.1 Selektionsprocessen for scoping review	24
5.2 Kvalitetsvurdering af de inkluderede studier	26
5.3 Identificering af implementeringsbarrierer i matrix	29
5.4 Tematisering	32
5.5 Kortlægning af resultater fra scoping reviewet.....	33
5.5.1 Brugerperspektivet (antal studier: 9, gennemsnit kvalitet: 6.2)	33
5.5.2 Data (antal studier: 8, gennemsnit kvalitet: 6.1).....	34
5.5.3 Teknologisk kompleksitet (antal studier: 8, gennemsnit kvalitet: 6)	35
5.5.4 Etik og GDPR (antal studier: 7, gennemsnit kvalitet: 6.6).....	36
5.5.5 Økonomi (antal studier: 6, gennemsnit kvalitet: 7.3).....	37

5.5.6 Juridisk ansvar (antal studier: 5, gennemsnit kvalitet: 8.2)	37
5.5.7 Infrastruktur og integration (antal studier: 4, gennemsnit kvalitet: 4.5)	38
5.5.8 Evidens i sundhedsvæsenet (antal studier: 3, gennemsnit kvalitet: 9.3)	38
5.6 Opsummering af resultater	38
6 Diskussion.....	40
6.1 Resultatdiskussion	40
6.2 Metodediskussion	42
7 Konklusion	44
8 Perspektivering	45
Referenceliste	46
Bilag	58
Bilag 1: Søgeprotokol til systematik litteratursøgning	58
Bilag 2a: Søgeprocessen i databasen PubMed.....	60
Bilag 2b: Søgeprocessen i databasen Scopus	60
Bilag 2c: Søgeprocessen i databasen IEEE Xplore.....	61
Bilag 3: Tabel til udarbejdelse af matrix i resultater	62
Bilag 4: Tabel til visualisering af temaer i resultater.....	62
Bilag 5a: JBI kvalitetsvurderingstjekliste til de inkluderede studier, reviews.....	63
Bilag 5b: JBI kvalitetsvurderingstjekliste til de inkluderede studier, kvalitativt	64

1 Indledning

I forbindelse med demografiske ændringer på verdensplan opstår flere udfordringer grundet flere ældre, herunder komplekse sundhedsproblemer, færre individer på arbejdsmarkedet og begrænset adgang til behandling i sundhedsvæsenet (Bongaarts, 2009; Durrani, 2016). Desuden opstod endnu en udfordring i slutningen af år 2019 med fremkomsten af en coronavirus (SSI, 2020; SSI, 2022a; Alrashed et al., 2022). På verdensplan spredte virussen sig hurtigt i løbet af år 2020, hvor mere end 30 millioner individer blev smittet (SSI, 2020; SSI, 2022a). Det resulterede i, at verdenssundhedsorganisationen World Health Organisation (WHO) erklærede virusudbruddet for en global sundhedskrise, og senere en pandemi (SSI, 2022b; Alrashed et al., 2022). Det betød, at mange lande var tvunget til at gentænke deres sundhedsvæsen, herunder hvordan teknologiske løsninger kunne anvendes til at mindske presset i sundhedsvæsenet (Filip et al., 2022; Schiavone & Ferretti, 2021; Alrashed et al., 2022). Det resulterede i, at der blev udviklet og implementeret flere telemedicinske løsninger, som også gik under navnet virtuelle sundhedsvæsener, som foregik i private hjem. Det gjorde det muligt for individer at modtage sundhedsydelse i eget hjem gennem forskellige informations- og kommunikationsteknologier, bl.a. via kunstig intelligens (Bidoli et al., 2023; Schultz et al., 2021; Chung-Lee & Catallo, 2023; Schiavone & Ferretti, 2021). Udviklingen af virtuelle sundhedsvæsener var begyndelsen mod at medtænke mere integration af teknologi, for potentielt at kunne mindske presset yderligere i sundhedsvæsenet. Dette medførte en idé om at udvikle digitale tvillinger af individer i sundhedsvæsenet, med henblik på at optimere sundhedsvæsenets ressourcer, og for at kunne udarbejde flere forebyggende handlinger (Khan et al., 2022; Chen, AlNajem & Shorfuz-zaman, 2022).

"The Living Heart" projekt er et færdigudviklet og valideret 3D-hjerte, som også har fået flere forskningsorganisationer til at se stort potentiale, og udvikle idéer til dele af den digitale tvilling i sundhedsvæsenet. Det skyldes at hjertet tager højde for både funktionalitet, størrelse, blodgennemstrømning og elektriske impulser hos det enkelte individ. Det anvendes til at designe nyt medicinsk udstyr, analysere lægemidler, udarbejde individuelle kirurgiske behandlinger, forebyggelse og uddannelse (Baillargeon et al., 2014; Boulos & Zhang, 2021). I dag anvendes der bl.a. digitale tvillinger i industrien, hvor det f.eks. anvendes til at simulere og optimere produktionsprocesser og maskiner. Her kan det bl.a. anvendes til at overvåge eller forudsige evt. fejl eller nedbrud, som kan bidrage til at øge produktiviteten (Tao et al., 2019). Digitale tvillinger anvendes også i farmaceutisk modellering ved bl.a. computersimuleringer, med henblik på at gøre forskellige processer i lægemiddeludviklingen mere effektive, ved at levere præcise input- og output forudsigelser for biokemiske reaktioner (Katsoulakis et al., 2024).

Den digitale tvilling i sundhedsvæsenet kan enten anvendes til at modellere individet eller til at administrere og udvikle lægemidler. I litteraturen fremkommer der ikke et enstydigt svar på, hvad den digitale tvilling i sundhedsvæsenet skal bestå af, når individet skal modelleres. Definitionen der afspejles oftest er, at en digital tvilling i sundhedsvæsenet skal bestå af en fysisk og virtuel del, som forbindes til hinanden med data og informationer (Armeni et al., 2022). En anden definition relaterer sig til, at den digitale tvillings virtuelle del i stedet skal være levende (Saddik, 2018). I specialet tages der udgangspunkt i første nævnte definition af den digitale tvilling i sundhedsvæsenet, da denne optræder hyppigst i litteraturen. Selvom der i litteraturen fremgår stort potentiale i at anvende individets digitale tvilling, fremkommer der flere risici relateret til bl.a. individets privatliv (Armeni et al., 2022). Dog er der fortsat en forventning om, at digitale tvillinger kan effektivisere sundhedsvæsenet, med henblik på øget kvalitet, forebyggelse og bedre behandling gennem præcise diagnoser (Vallée, 2023; Armeni et al., 2022). Teknologien har potentialet til at transformere det nuværende medicinske paradigme i sundhedsvæsenet, der fokuserer på helbredelse af patientens sygdom, til et nyt paradigme med fokus på patientcentering og forebyggelse af sygdomme. Dette skift er bl.a. afgørende for at forbedre de demografiske udfordringer sundhedsvæsenet står overfor på verdensplan, så sundhedsvæsenet ikke bliver overbelastet, og ansvaret ligges mere over i individets egne hænder (Ibid). Ovenstående har udbredt en initierende undren om, hvorvidt digitale tvillinger kan implementeres i sundhedsvæsenet ud fra et forebyggelsesperspektiv, hvor forebyggelse med brug af digitale tvillinger vil være specialets fokusområde.

2 Problemanalyse

I det følgende kapitel præsenteres specialets problemanalyse, hvor der vil blive argumenteret for dens relevans. Indledningsvis præsenteres demografiske udfordringer. Efterfølgende belyses digitaliseringen i sundhedsvæsenet, telemonitorering samt kunstig intelligens. Afslutningsvis vil digitale tvillinger i sundhedsvæsenet blive belyst.

2.1 Demografiske udfordringer

Den stigende andel af ældre i befolkningen øger presset på sundhedsvæsenet, hvor antallet af individer på 65 år eller ældre på verdensplan er markant steget i løbet af de seneste år. Det forventes, at denne udvikling vil fortsætte, hvilket vil resultere i, at 39% af verdens befolkning i år 2060 vil være 65 år eller ældre (EUROPEAN COMMISSION, 2023; Meijer et al., 2013). Udviklingen skyldes både at sundhedsvæsenet er blevet bedre til at forebygge, og ansvaret ligges mere i individets egne hænder, så sundhedsvæsenet bliver mindre overbelastet. Det skyldes også forbedringer af miljømæssige- sociale- og økonomiske forhold, som har medført bedre levevilkår for befolkningen (Batarseh et al., 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2023). I Danmark er der opstået tilsvarende udvikling, hvor andelen af ældre individer på 65 år eller ældre også er stigende i forhold til resten af befolkningen. Endvidere forventes befolkningstallet i Danmark at stige fra ca. 5.9 millioner individer i dag, til 6.3 millioner individer i år 2050, og derefter til ca. 6.6 millioner individer i år 2070 (Danmarks Statistik, 2023). Ydermere vil andelen af ældre i Danmark over 80 år stige med ca. 59% fra år 2020 til år 2030, og forventes at toppe i år 2057 med en stigning på ca. 142% fra niveauet i år 2020 (Danmarks Statistik, 2020). Det vil også resultere i en stigende prævalens og incidens af kroniske sygdomme og lidelser, som f.eks. cancer (EUROPEAN COMMISSION, 2023).

Et andet problem relateret til de demografiske udfordringer er manglende ressourcer, herunder mangel på sundhedsprofessionelle og tid i sundhedsvæsenet. Der bliver uddannet færre sundhedsprofessionelle til at varetage opgaverne i sundhedsvæsenet, hvor WHO forventer at der i år 2030 vil mangle 10 millioner sundhedsprofessionelle på verdensplan (WHO, 2023; Meskó, Hetényi & Györfy, 2018). Endvidere forventes det at sundhedsvæsenet vil skifte fokus fra mekanisk tilgang til sygdom, behandling og forebyggelse til en mere biologisk og personcentreret tilgang. Dette vil medføre store krav til effektivisering af ressourcer i sundhedsvæsenet, herunder den teknologiske udvikling (Højgaard & Kjellberg, 2017; Meskó et al., 2017; Meskó, Hetényi & Györfy, 2018). Det stigende pres i sundhedsvæsenet vil også resultere i flere fejl i både diagnostik og behandling. Det kan påvirke

patientsikkerheden og patientens videre forløb, og betinger derfor også store samfundsændringer i sundhedsvæsenet (Zavala et al., 2018; Meskó, Hetényi & Györffy, 2018, WHO, 2015).

2.2 Digitalisering i sundhedsvæsenet

Digitale løsninger transformerer samfundet hver dag, men fortsat er forandringen, herunder digitaliseringen i sundhedsvæsenet bagud. Sundhedsvæsenet skal styrkes for at klare de udfordringer, som ligger forude (Brown et al., 2022; Stoumpos, Kitsios & Talias, 2023). I det nuværende sundhedsvæsen er patientdata ofte spredt på tværs af forskellige sundhedssystemer, hvilket skaber udfordringer med at dele og kombinere data. Dette kan medføre fejl, længere behandlingstider og ineffektivitet i patientens behandling (Dash et al., 2019; Awrahman, Fatah & Hamaamin, 2022).

WHO har stort fokus på et større brug af sundhedsteknologier, med henblik på et velfungerende og kvalitetsløftet sundhedsvæsen (WHO, 2010; Brown et al., 2022). Det fremgår også, at sundhedsteknologierne skal medføre bedre brug af data, for at optimere indsamlingen og videreformidlingen af data fra individet (WHO, 2010). Dette skal også medføre, at de sundhedsprofessionelle har mere og bedre data til deres beslutningsstøtte (Chen et al., 2023). I denne kontekst afspejles den tidligere adresseret udfordring om, at patientdata ofte er spredt mellem forskellige sundhedssystemer, og dermed er digitaliseringen af sundhedsvæsenet afhængig af implementering af nye digitale løsninger (Dash et al., 2019; Awrahman, Fatah & Hamaamin, 2022). Dette på trods af, der er udviklet nye teknologiske løsninger som Internet of Things og Cloud Computing. Dog er problemet, at det ikke er muligt at udvikle på de nye løsninger, pga. at udviklingen af teknologierne har medført udfordringer i forhold til at overholde lovgivningen om beskyttelse af individets data (Naresh et al., 2020; Dash et al., 2019; Khan et al., 2022). Samtidig er teknologierne ikke patientcentreret eller fuldstændig standardiserede, både i forhold til datalagring, datahåndtering og udveksling af data mellem forskellige enheder. Dermed er der dårlige grundlag for at udvikle digitaliseringen i sundhedsvæsenet med de nuværende muligheder (Ibid). Det betyder også, at de nuværende teknologiske løsninger ikke kan imødekomme de demografiske udfordringer, som sundhedsvæsenet forventes at stå over for (Ibid).

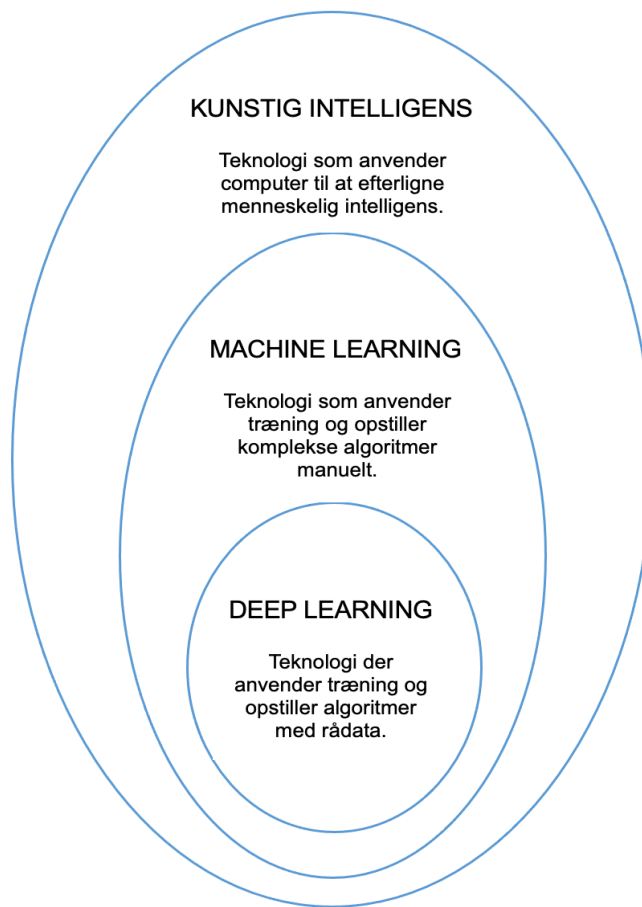
2.3 Telemonitorering

Med den globalt stigende forekomst af kroniske sygdomme og lidelser er udviklingen af telemonitorering, som er en gren af telemedicin, mere afgørende for at imødekomme denne udfordring. Telemonitorering kan finde sted i hjemmet, og dermed betragtes som hjemmemonitorering, hvilket mindsker presset på sundhedsvæsenet. Det betyder også, at der opstår en relokering af ressourcer, og

færre patienter i sundhedsvæsenet (Paré, Jaana & Sicotte, 2007; Solimini et al., 2021). Hjemmemonitoreringen består af flere informationsteknologier til at overvåge individet på afstand, herunder bl.a. måleudstyr til vitale værdier og vægt, som automatisk sendes til sundhedsvæsenet. Der er implementeret op til flere telemonitoreringsmetoder til allerede eksisterende kroniske sygdomme, f.eks. til hjerte-kar, diabetes og kronisk obstruktiv lungesygdom (Ibid). Dermed skal tidlig detektering af patientens sygdomsforværringer være med til at arbejde forebyggende. Telemonitorering har medført en reduktion i antallet af indlæggelser og genindlæggelser, samt yderligere patientinddragelse (Dawson et al., 2021). Anvendelse af telemonitorering muliggør let indsamling af store mængder data, og fordrer dermed en masse data som er sygdomsspecifikt. Endvidere bevirker telemonitorering et større samarbejde mellem de sundhedsprofessionelle og individet, hvor dele af udførelse af opgaver og ansvar ligges i individets egne hænder. Dog giver det anledning til flere etiske overvejelser i forhold til, om individet bl.a. er i stand til at stå med ansvaret (Solimini et al., 2021). Interessen for anvendelse af telemonitorering og etik er stigende, men på trods af dette, er teknologien blevet en forløber til at tage skridtet videre til at forske i yderligere forebyggelse med kunstig intelligens (Sharma, Rawal & Shah, 2023).

2.4 Kunstig intelligens

Kunstig intelligens automatiserer komplekse algoritmer baseret på metoder, hvor der udføres beregninger og modellering, som kan anvendes af individer (Korteling et al., 2021; Davenport & Kalakota, 2019). Kunstig intelligens har derfor potentiale til at forbedre kvaliteten i sundhedsvæsenet, herunder være med til at udnytte ressourcer bedre (Regioner, 2023; Alowais et al., 2023). Endvidere kan kunstig intelligens anvendes i flere niveauer ved enten Machine Learning eller Deep Learning, hvor figur 1 illustrerer niveauerne i kunstig intelligens (Olczak et al., 2021; Davenport & Kalakota, 2019).



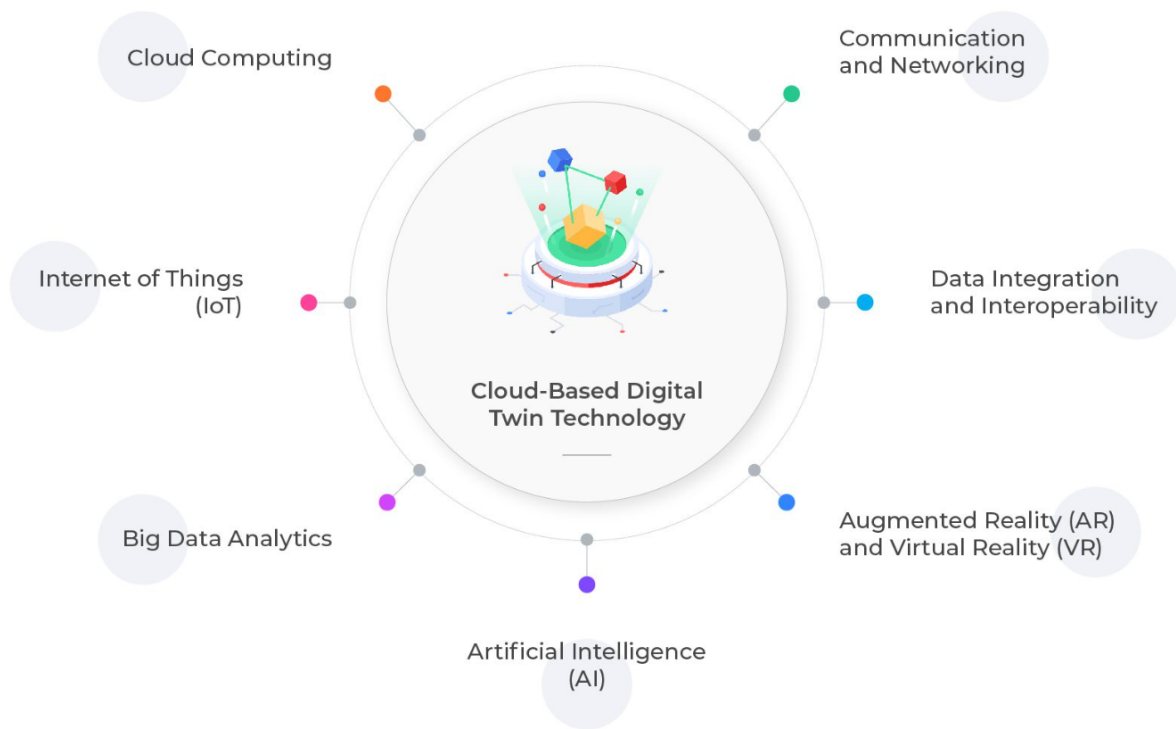
Figur 1: Visualisering af sammenhængen mellem niveauerne i kunstig intelligens (Olczak et al., 2021).

Machine Learning består af flere teknologiske løsninger til at opbygge kunstig intelligens. Desuden er Machine Learning velegnet til at identificere mønstre i data med veldefinerede karakteristika, hvor algoritmernes data manuelt tildeles bestemte egenskaber (Olczak et al., 2021; Davenport & Kalakota, 2019). Deep Learning anvendes til at opbygge Machine Learning. Endvidere er det med Deep Learning ikke nødvendigt at individet definerer bestemte karakteristika, derfor arbejder algoritmerne med rådata, og finder selv de nødvendige egenskaber til datasættet (Ibid). Den nuværende udbredelse af kunstig intelligens i sundhedsvæsenet har potentialet til at løse dele af førnævnte udfordringer, pga. teknologiens evne til hurtigt at analysere og fortolke store mængder data. Det forventes også, at teknologien på sigt kan overgå de sundhedsprofessionelles kompetencer (Lee & Yoon, 2021; Olcak et al., 2021; Davenport & Kalakota, 2019; Amann et al., 2020). Dog står sundhedsvæsenet fortsat over for flere udfordringer, der begrænser den kunstige intelligens nuværende effektivitet og anvendelse (Lee & Yoon, 2021; Amann et al., 2020). Begrænsningerne relaterer sig til manglende patientcentering, da eksisterende løsninger med kunstig intelligens i sundhedsvæsenet ikke er tilpasset til den enkeltes behov, som kan medføre at patienten ikke tilbydes det rette behandling (Lee & Yoon, 2021; Amann et al., 2020; Meskó et al., 2017). Desuden er det problematisk at data

ikke er struktureret og samlet et sted, hvormed sundhedsvæsenet ikke har de bedste forudsætninger for at udvikle avancerede løsninger med kunstig intelligens. Det skyldes, at ved anvendelse af kunstig intelligens og dertilhørende data, er problemet at data er fragmenteret, og dermed er det svært at samle alt data. Endvidere kan det ikke integreres fra forskellige steder, og dermed er der brug for at samle alt data et sted, så der ikke er små fraktioner rundt omkring. Ydermere er fokus i sundhedsvæsenet ved anvendelse af kunstig intelligens primært bygget på at analysere bestemte typer af data, f.eks. billeder eller laboratorieresultater, og dermed mangler evnen til at integrere og forstå individets samlede helbredsstatus (Ibid).

2.5 Digitale tvillinger i sundhedsvæsenet

I sundhedsvæsenet er der behov for at samle alt data til et sted, hvor digitale tvillinger skal muliggøre dette ved at binde det hele sammen, og dermed også muliggør omfattende brug af kunstig intelligens på data (Armeni et al., 2022). Den digitale tvilling består af en fysisk og virtuel del, som forbindes til hinanden med data og informationer. I den fysiske del indsamles der informationer gennem individets sensorer og mobile applikationer, som automatisk synkroniseres til den virtuelle del. Det indeholder kontinuerlige data om adfærdsmønstre, herunder søvn, aktivitet, sociale determinanter og geografi. Desuden indsamles der i den fysiske del også data om individets anatomiske struktur (Ibid). Endvidere indsamles der historiske data og realtidsdata fra sundhedsjournaler, billeddiagnostik og kliniske forsøgsdata. Udviklingen af den digitale tvilling forudsætter at alt data kan samles til et sundhedssystem, og derfor er der udviklet sundhedssystemet CloudDTH, som betegnes som den virtuelle del af den digitale tvilling. CloudDTH er udviklet i samarbejde mellem flere forskningsorganisationer på verdensplan, og tilbydes til de forskningsorganisationer, som arbejder med at udvikle dele af den digitale tvilling (Liu et al., 2019; Katsoulakis et al., 2024). CloudDTH er en database, som kan indeholde alle teknologierne til den digitale tvilling (Ibid). Aktører fra bl.a. industrivirksomheden Siemens sigter mod at fremme fremtidens sundhedsvæsen, og implementering af digitale tvillinger med stort fokus på forebyggelsesaspektet, og ved anvendelse af CloudDTH enheden (Armeni et al., 2022; Benedictis et al., 2023; Siemens, 2022). Det er eksisterende teknologier der udgør komponenterne til den digitale tvilling, hvor der bl.a. indgår kunstig intelligens. De eksisterende teknologier samles i en enhed i kombination med individets individuelle data (Liu et al., 2019; Armeni et al., 2022). I figur 2 ses de syv komponenter og teknologer, der skal kombineres i CloudDTH for at udvikle og anvende den digitale tvilling i sundhedsvæsenet (Armeni et al., 2022; Liu et al., 2019).



Figur 2: Visualisering af de syv komponenter og teknologier, der udgør udviklingen af den digitale tvilling i sundhedsvæsenet (Data Dynamics Inc, 2024).

Cloud Computing anvendes til at gemme og behandle data, hvor anvendelsen af Cloud Computing muliggør at administrere større datamængder, udføre komplekse simuleringer og analyser samt en automatiseret dataindsamling (Armeni et al., 2022; Liu et al., 2019; Dang et al., 2019). Internet of Things indeholder sensorer til at registrere data, og derefter udføre handlinger baseret på det indsamlede data (Dang et al., 2019). Det betyder, at Internet of Things forbinder individets fysiske applikationer og sensorer til den digitale tvilling, hvor det transmitteres til CloudDTH. Dermed opdateres og vedligeholdelse den digitale tvilling løbende, og sikre at de nyeste data altid er tilgængelige (Armeni et al., 2022; Liu et al., 2019). Digitale tvillinger generer og håndterer store datamængder fra forskellige systemer, og dermed skal Big data bruges til at behandle og analysere disse data, da Big data muliggør avancerede analysemetoder med store komplekse datamængder. Her anvendes statistisk analyse og Machine Learning til at identificere mønstre og korrelationer i individets data, som hjælper med at optimere processer, og arbejde forebyggende (Armeni et al., 2022; Liu et al., 2019; Batko & Ślezak, 2022). Den kunstige intelligens anvendes til autonom beslutningstagning, hvor algoritmerne i Machine Learning analyserer data for at lave forudsigelser, samt identificere anderledes adfærd hos individet. Samtidig forbedrer den kunstige intelligens den digitale tvillings intelligens og beslutningstagningsmuligheder. Den kunstige intelligens bidrager også til den digitale tvillings biologiske systemer og organer. Dette gør det muligt at forudsige mulige fremtidige sundhedsproblemer

hos individet baseret på det indhentet data, og dermed arbejde af forebyggende karakter (Armeni et al., 2022). Det skyldes, at kunstig intelligens i sammenspil med Big data analyserer individets fysiologiske data, og generere 3D-billeder baseret på individets data om bl.a. størrelse på organer og muskelsammentrækninger. Det kan lade sig gøre, idet Big data leverer alt individets data, hvormed den kunstige intelligens anvender disse data til at identificere mønstre og tendenser (Batarseh et al., 2020, Liu et al., 2019). Den digitale tvilling kan også anvendes med Virtual Reality, hvilket giver mulighed for at sundhedsprofessionelle kan afprøve komplekse behandlinger og procedurer på virtuelle individer, før de anvender dem på fysiske individer (Armeni et al., 2022). For at data fra den fysiske del af den digitale tvilling kan overføres sikkert til den virtuelle del, kræver det et pålideligt kommunikationsnetværk og standardiserede procedurer. Det betyder, at der i CloudDTH skal anvendes kommunikationsteknologien Open Platform Communications Unified Architecture. Det skal muliggøre interoperabilitet mellem de forskellige systemer og applikationer i den digitale tvilling, og sikre dataintegriteten (Armeni et al., 2022; Cavalieri & Gambadoro, 2023). Desuden skal interoperabilitets teknologier sikre dataflow mellem de forskellige systemer i den virtuelle- og fysiske del, så den digitale tvilling opdateres løbende. I disse interoperabilitets teknologier indgår Internet of Medical Things og Cloud Computing (Ibid).

Digitale tvillinger skal ikke blot udvikles til patienter, men samtidig også til raske individer, som er medvirkende til yderligere etiske overvejelser, som kan få betydning forud for en potentiel implementering (Doctor et al., 2021). Udviklingen af "The Living Heart" og Covid-pandemien har ikke kun medført at flere forskningsorganisationer og litteraturen ser et stort potentiale i de digitale tvillinger, men også medført et specifikt fokus på udviklingen af lungedelen til den digitale tvilling. Formålet er at kunne forudsige ventilationsbehov og optimere patientresultater (Katsoulakis et al., 2024). Endvidere fokuserer forskningsorganisationen DIGIPREDICT på udviklingen af en digital tvilling via pilotprojekter, som kan forebygge progressionen af sygdomme, samt identificere behovet for tidlig intervention inden for infektions- og hjerte-kar-sygdomme. En anden forskningsorganisation er PRIMAGE, som fokuserer på specifikke befolkningsgrupper, hvor fokus er på at udvikle digitale tvillinger til specifikke forebyggelse- og behandlings initiativer til cancerdiagnoser. De anvender anonymiserede datasæt til deres træning og validering af algoritmerne (Katsoulakis et al., 2024; Stahlberg et al., 2022). Et andet igangværende pilotprojekt som involverer flere forskningsorganisationer, har også fokus på cancerpatienter. Der fokuseres primært på at udvikle digitale tvillingemodeller for brystcancerpatienter, hvor modellerne bygger på at indsamle genetiske-, fysiologiske- og adfærdsmæssige data fra patienterne. Formålet er at anvende disse data til at forebygge, overvåge, diagnosticere og udarbejde individuelle behandlingsplaner til patienterne (Moztarzadeh et al., 2023). Endvidere er der i indeværende år 2024 oprettet en organisation som går under navnet "Digital Twins

for Health Consortium”, som består af tværfaglige organisationer, som er interesserede i at udvikle den digitale tvillingeinfrastruktur i sundhedsvæsenet, for at revolutionere sundhedsparadigmet (Katsoulakis et al., 2024). Organisationen har igangværende forskning om digitale tvillinger indenfor lungecancer, sepsis, psykiske lidelser, diabetes, leukæmi og hjerte-kar-sygdomme (Ibid).

Udviklingen af teknologien er i gang, men i litteraturen fastsættes ingen specifik tidsramme på, hvornår implementeringen af digitale tvillinger potentielt er klar. I år 2017 blev de første tre studier omkring digitale tvillinger i sundhedsvæsenet publiceret, hvor der i år 2023 i alt blev publiceret 81 studier om emnet (Katsoulakis et al., 2024). Dette betyder også, at emnet kan være forbundet med større usikkerhed, og samtidig kan der opstå meget heterogene udfald. Det understreger også behovet for et systematisk overblik over litteraturen, samt identificere mønstre og fremtidige forskningsbehov.

2.6 Problemopsummering

Den demografiske udvikling med en stigende andel ældre individer udgør en stor udfordring for sundhedsvæsenet. Denne udvikling medfører stigende prævalens og incidens af kroniske sygdomme og lidelser. Udviklingen medfører også en øget kompleksitet i sundhedsvæsenet, og udfordringer med relokering af ressourcer, herunder mangel på sundhedsprofessionelle og tid (EUROPEAN COMMISSION, 2023). På trods af den generelle teknologiske udvikling af bl.a. telemonitorering og kunstig intelligens, er der fortsat behov for at udvikle og implementere nye teknologiske løsninger. Dette for potentielt at imødekomme de demografiske udfordringer, og muligheden for at arbejde mere patientcentreret og forebyggende (Dang et al., 2019; Naresh et al., 2020; Dash et al., 2019; Solimini et al., 2021). Interessen for telemonitorering er stigende, for at imødekomme behovet for kontinuerlig overvågning, og for at mindske belastningen i sundhedsvæsenet. Dog medfører anvendelsen af telemonitorering også flere etiske overvejelser, og yderligere behov for forebyggelsesinitiativer (Solimini et al., 2021). På trods af dette, er teknologien blevet en forløber til at tage skridtet videre til yderligere forebyggelse med digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, hvor bl.a. den kunstige intelligens indgår som en del (Doctor et al., 2021).

I litteraturen fremhæves et stort potentiale i at anvende digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, herunder potentialet til at løse førnævnte demografiske udfordringer (Armeni et al., 2022). Samtidig er flere forskningsorganisationer i gang med at gennemføre pilotforsøg af dele til den digitale tvilling (Katsoulakis et al., 2024). Den digitale tvilling har potentialet til at overvinde det nuværende medicinske paradigme i sundhedsvæsenet, der fokuserer på helbredelse af patientens sygdom, til et nyt paradigme med fokus på forebyggelse af sygdomme (Vallée, 2023; Armeni et al., 2022). Dog er det

uklart hvor langt teknologien er i forhold til implementering, og hvilke potentielle implementeringsbarrierer der er, og dermed er det problematikkerne der mangler at kigges ind i forud for potentiel implementering (Armeni et al., 2022; Liu et al., 2019).

3 Problemformulering

Hvilke potentielle barrierer skal man være opmærksom på i forhold til en succesfuld implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, og hvor moden er teknologien?

4 Metode

I det følgende kapitel vil specialets metode præsenteres. Indledningsvis vil den metodiske ramme for udarbejdelse af et scoping review blive præsenteret. Dernæst præsenteres specialets systematiske litteratursøgning. Afslutningsvis præsenteres overvejelser om kvalitetsvurdering af de inkluderede studier, samt metodiske overvejelser til analyse og tematisering af data ud fra de inkluderede studier.

4.1 Scoping review

Scoping reviewet blev valgt som metode til at kortlægge og gøre opmærksom på potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, samt undersøge teknologiens modenhed. Formålet med et scoping review er at undersøge eksisterende litteratur inden for et bestemt område, og tage udgangspunkt i et bredere forskningsspørgsmål end i et systematisk review (Mak & Thomas, 2022; Westphaln et al., 2021). Endvidere skal et scoping review give et overblik over eksisterende litteratur, og være medvirkende til at identificere temaer og områder, hvor der er behov for yderligere forskning (Ibid). Scoping reviewet blev udarbejdet med afsæt i Arksey og O'Malleys (2007) metodiske ramme, hvor processen opdeles i fem stadier (Arksey & O'Malleys, 2007). I første stadie identificeres forskningsspørgsmålet, som blev fremanalyseret gennem problemanalysen til problemformuleringen. I andet stadie identificeres relevante studier i forbindelse med den systematiske litteratursøgning. I tredje stadie udvælges studier pba. de opstillende in- og eksklusionskriterier. I fjerde stadie foregår en kortlægning af data fra de inkluderede studier. I det femte stadie foregår en systematik sammenstilling af de inkluderede studier, og dertilhørende resultater (Ibid).

4.1.2 Søgestrategi

Indledningsvis blev der foretaget en initierende litteratursøgning i Google Scholar, med henblik på at skabe indsigt i vidensfeltet om emnet, og kvalificere relevante søgeord til bloksøgningen. Der blev udført en systematisk litteratursøgning til besvarelse af problemformuleringen, for at sikre systematik, og for at opnå transparens i søgningen (Glasdam, 2015). Forud for den systematiske litteratursøgning blev der udarbejdet en søgeprotokol. Søgeprotokollen indeholder fremgangsmåde med hvilken søgestrategi der blev anvendt, argumentation for valg af databaser, temaer samt specialets in- og eksklusionskriterier. Formålet med protokollen var at øge reliabiliteten af specialets systematiske litteratursøgning, samt skabe en større gennemsigtighed og generaliserbarhed. Yderligere information om søgeprotokollen henvises der til bilag 1.

Den systematiske litteratursøgning blev udført i følgende databaser: PubMed, Embase, IEEE Xplore og Scopus, se også bilag 1 for argumentationen for valg af databaser. Endvidere blev der pba. den initierende litteratursøgning i Google Scholar, videnskabelige databaser og specialets problemområde identificeret relevante søgeord, som blev anvendt i den systematiske litteratursøgning, og til udarbejdelse af bloksøgningen. Søgningerne bestod af en bloksøgning med tre blokke med temaerne: teknologi, sundhedsvæsenet og udfordringer, som ses i tabel 1. I tabel 1 visualiseres også søgeordene anvendt i søgningen i databasen Embase. Søgeordene blev justeret således at de stemte overens med den pågældende databases emne- og fritekstord samt thesaurus, da definitionen af det enkelte søgeord kan variere mellem databaserne (Ibid). Yderligere information om søgeprocessen, herunder de resterende databaser henvises der til bilag 2a, -2b og -2c. Mellem hvert søgeord i bloksøgningen blev der anvendt den boolske operatorer "OR". Dette for at samle alle søgeord i den enkelte blok, for at sikre en bred søgning. Endvidere blev der mellem de tre blokke anvendt den boolske operatorer "AND" for at skelne mellem blokkene, og indsnævre søgningen med indhold fra alle tre blokke (Glasdam, 2015; Vilstrup & Bennich, 2014). De boolske operatorer sikrede også en konkretiseret søgning, og dermed resultatet af søgningen. Desuden blev der anvendt trunkering for at åbne op for forskellige endelser, samt anvendt frasering for at undgå støj i søgningerne, og samtidig sikre relevansen i de fremsøgte studier (Kristensen et al., 2021). Nogle af emneordene blev også anvendt som enten MeSH- eller Emtree ord, også kendetegnet under thesaurus. MeSH skal sikre en konsistens emnesøgning, mens Emtree skal ekspandere søgningen (Glasdam, 2015). Thesaurus hjælper også til at få valideret begreber, hvilket sikrede, at de mest passende ord blev valgt til søgningen (Ibid). Der blev også anvendt kontrollerede emneord for at sikre, at den systematiske litteratursøgning både var systematik og præciserende. Dette var også for at sikre, at alt relevant tilgængeligt litteratur blev inkluderet (Glasdam, 2015; Vilstrup & Bennich, 2014). Desuden ved

anvendelse af fritekstord var det muligt at medtage termer, som ikke var indekseret som et kontrolleret emneord i bloksøgningen (Ibid).

Embase					
	Blok 1 Teknologi		Blok 2 Sundhedsvæsenet		Blok 3 Udfordringer
OR	"Digital twin" /exp /Emtree "Digital twin*" /fritekst	AND	"Healthcare" /exp /Emtree "Healthcare" /fritekst "Smart healthcare" /fritekst "Healthcare system" /exp /Emtree Healthcare system" /fritekst	AND	Challenge* /fritekst

Tabel 1: Systematisk litteratursøgning i Embase. Explode (/exp) er anvendt for at medtage andre ord, som ligger under det pågældende søgeord.

4.1.3 In- og eksklusionskriterier

Forud for søgeprocessen blev der opstillet in- og eksklusionskriterier for at præcisere udvælgelsen af studier, se tabel 2. In- og eksklusionskriterierne blev udarbejdet med henblik på at sikre videnskabelig relevans ift. specialets problemformulering. Det blev også gjort for at udarbejde en ramme for, hvilke studier der blev medtaget i specialet. Kriterierne blev udformet med udgangspunkt i specialets problemformulering.

Inklusionskriterier	Eksklusionskriterier
- Studier, der er engelsk-, dansk-, svensk- eller norsksproget. - Studier, der omhandler barrierer ved implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. - Studier, hvor der kan indhentes fuldt tekst.	- Studier, der omhandler dyreforsøg. - Studier, der har fokus på digitale tvillinger udenfor sundhedsvæsenet.

Tabel 2: Specialets opstillede in- og eksklusionskriterier.

4.1.4 Udvalgelse af studier

De fremsøgte studier i PubMed, Embase, IEEE Xplore og Scopus blev eksporteret til programmet Rayyan, hvor udvælgelsesprocessen blev udført. Rayyan detekterede mulige duplikater, hvor de efterfølgende blev manuelt slettet. Herefter blev de tilbageværende studier læst med fokus på eksklusion pba. titel og abstract. De resterende studier blev gennemlæst ved fuldt tekst, hvor in- og eksklusionskriterierne også blev taget i betragtning. Hvis der under udvælgelsesprocessen fremkom tvivl om et bestemt studie skulle in- eller ekskluderes, blev studiet taget med videre i udvælgelsesprocessen til læsning af fuldt tekst. Endvidere ved tvivl om in- eller ekskludering af et studie ved læsning af fuldt tekst, blev enten specialets vejleder eller studiekammerat kontaktet med henblik på vurdering og diskussion af det pågældende studies relevans. Udvalgte studier blev dokumenteret i et flowchart, herunder de enkelte årsager til fravælgelse af studier gennemlæst ved fuldt tekst.

4.1.5 Kædesøgning

Kædesøgning anvendes, når der tages udgangspunkt i referencer fra de inkluderede studier i specialet, og dermed udvides den pågældende søgning (Vilstrup & Bennich, 2014). Derfor blev der for at supplere bloksøgningen, og opnå en fyldestgørende søgning anvendt kædesøgning. Dette for potentielt at finde relevante referencer i de inkluderede studier ud fra problemformuleringen. Vurdering af de inkluderede studier fra kædesøgningen foregik med samme fremgangsmåde, som i den systematiske litteratursøgning.

4.1.6 Citationssøgning

Citationssøgning anvendes ved at udnytte citationer af allerede inkluderede studier i specialet (AARHUS UNIVERSITET, 2024). Det betyder, at der tages udgangspunkt i de inkluderede studier fra udvælgelsesprocessen, hvormed der ledes efter relevante titler blandt deres citationer. Det blev gjort ved at finde de inkluderede studier i et citationsindeks i enten Web of Science eller Google Scholar. Dette var med henblik på at finde studier, der havde refereret til en eller flere af specialets inkluderede studier (Ibid). Ved fund af studier ved anvendelse af citationssøgning foregik vurderingen af studierne ud fra samme fremgangsmåde, som i den systematiske litteratursøgning og kædesøgning.

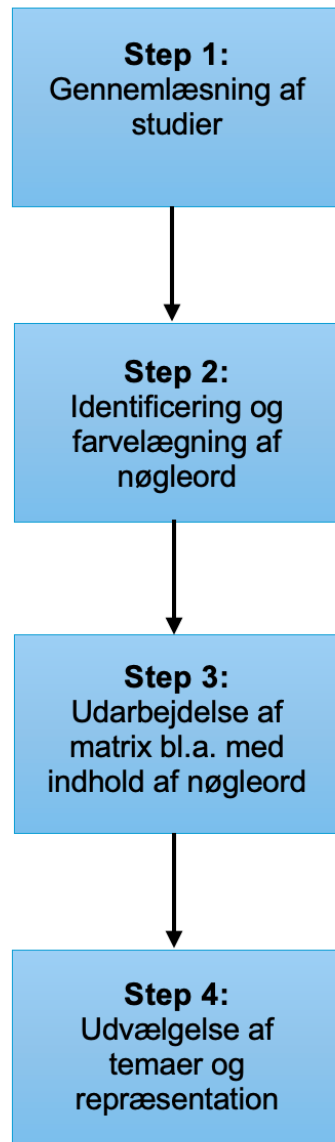
4.1.7 Kvalitetsvurdering

I forbindelse med udarbejdes af et scoping review indgår det ikke som en obligatorisk del at foretage en kvalitetsvurdering af de inkluderede studier (Peters et al., 2021). Arksey og O'Mally (2007) argumenterer for, at kvalitetsvurdering af inkluderede studier ikke er en del af udarbejdelsen af et scoping review (Arksey & O'Malley, 2007). De belyser, at grundlaget for udarbejdelsen af et scoping review er at undersøge omfanget af eksisterende forskning inden for et bestemt emne, i stedet for at vurdere forskningen baseret på kvaliteten af de inkluderede studier (Ibid). Dog argumenterer Shaheen et al. (2023) for, at kvalitetsvurderinger er en vigtig del af forskningen (Shaheen et al., 2023). Grundlaget for dette er bl.a. muligheden for at identificere videnshuller indenfor et bestemt emne, øge pålideligheden af sin forskning, og undgå forkerte konklusioner (Ibid). Pba. dette blev der foretaget en kvalitetsvurdering af hvert inkluderet studie i specialet ud fra standardiserede kvalitetsvurderingstjeklister (Peters et al., 2021; JBI, 2014). Der blev anvendt tjeklister fra Joanna Briggs Institute (JBI), som blev udvalgt pba. studiernes design (JBI, 2014). Dermed blev JBI anvendt i sammenspil med Arksey og O'Mallys stadier i specialet, som guide for strukturering af metoden, og dernæst så analysen af resultaterne blev udarbejdet stringent og transparent for læseren (JBI, 2014; Arksey & O'Malleys, 2007). Der blev også udført en kvalitetsscore af de inkluderede studier ud fra JBI Critical Appraisal Tools (JBI, 2014). Studierne blev kategoriseret med lav, middel eller høj kvalitet ud fra pointfordeling. Inddelingen af kvalitetscoren var inspireret af Joanna Briggs Institute: Levels of Evidence, med henblik på at studierne blev vægtet med en omfattende kritik vurdering (Ibid).

4.1.8 Analyse af data og tematisering

Der blev anvendt en systematisk tilgang til at kortlægge potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Processen startede med, at der i første step foregik en

gennemlæsning at de inkluderede studier, for at danne et overblik over indholdet. Dernæst blev der i andet step identificeret, herunder farvelagt nøgleord ved at anvende forskellige farve markører i de inkluderede studier, der pegede på forskellige temaer og underemner. Disse nøgleord fungerede som fundamentet for at udarbejde en struktureret ramme for temaer og underemner. I tredje step blev der udarbejdet en matrix, se bilag 3 for skabelonen af matrixen. I matrixen blev følgende nedskrevet: titel, forfatter, årstal, formål, studiedesign, kvalitet samt potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, hvor de potentielle barrierer var de farvelagte nøgleord. I fjerde step foregik den endelige udvælgelse af temaer, hvor elementerne fra matrixen blev anvendt. I forbindelse med udvælgelsen af temaerne i step fire, blev der opstillet endnu en tabel, hvor der henvises til bilag 4 for skabelonen til tabellen. Dette var med henblik på at illustrere, hvilke studier, som indeholdt de enkelte temaer, hvor studierne blev angivet fra nr. 1-14. I tabellen blev studiernes kvalitetsscore angivet med enten en grøn- (høj-), gul- (middel-) eller rød- (lav kvalitet) cirkel, hvorefter den samlede kvalitet blev udregnet ud fra gennemsnittet af kvalitetscoren med afsæt i JBI's pointfordeling (JBla, 2017; JBla, 2017). Dette blev gjort med henblik på at visualisere fordelingen af de enkelte temaer, f.eks. om nogle var ligeligt fordelt eller andre fremstod som en større potentiel implementeringsbarriere end andre. Desuden blev det gjort for at danne et overblik samt idé om, hvilken vægtning man skulle ligge i de kortlagte temaer, og heraf resultaterne, som videre kunne anvendes til specialets konklusion. Det blev også gjort med henblik på at understrege, hvad der kan ses frem mod for en succesfuld implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, samt pålideligheden og troværdigheden af resultaterne. For at øge transparensen af kortlægningen af temaer til scoping reviewet skulle hver potentielle implementeringsbarriere optræde i mindst tre af de inkluderede studier, før det kunne betegnes som et tema. Endvidere skulle der fra det enkelte studie fremgå tydelige pointer fra hver overvejelse, før det kunne tages i betragtning som en potentiel implementeringsbarriere for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Derfor blev der også under step fire foretaget en revurdering af de potentielle temaer, for at undersøge om de afspejlede specialet problemformulering og opsatte kriterier, for at sikre præcision. Fremgangsmåden til kodning af temaer til specialets scoping review ses illustreret i tabel 3 via de fire steps.



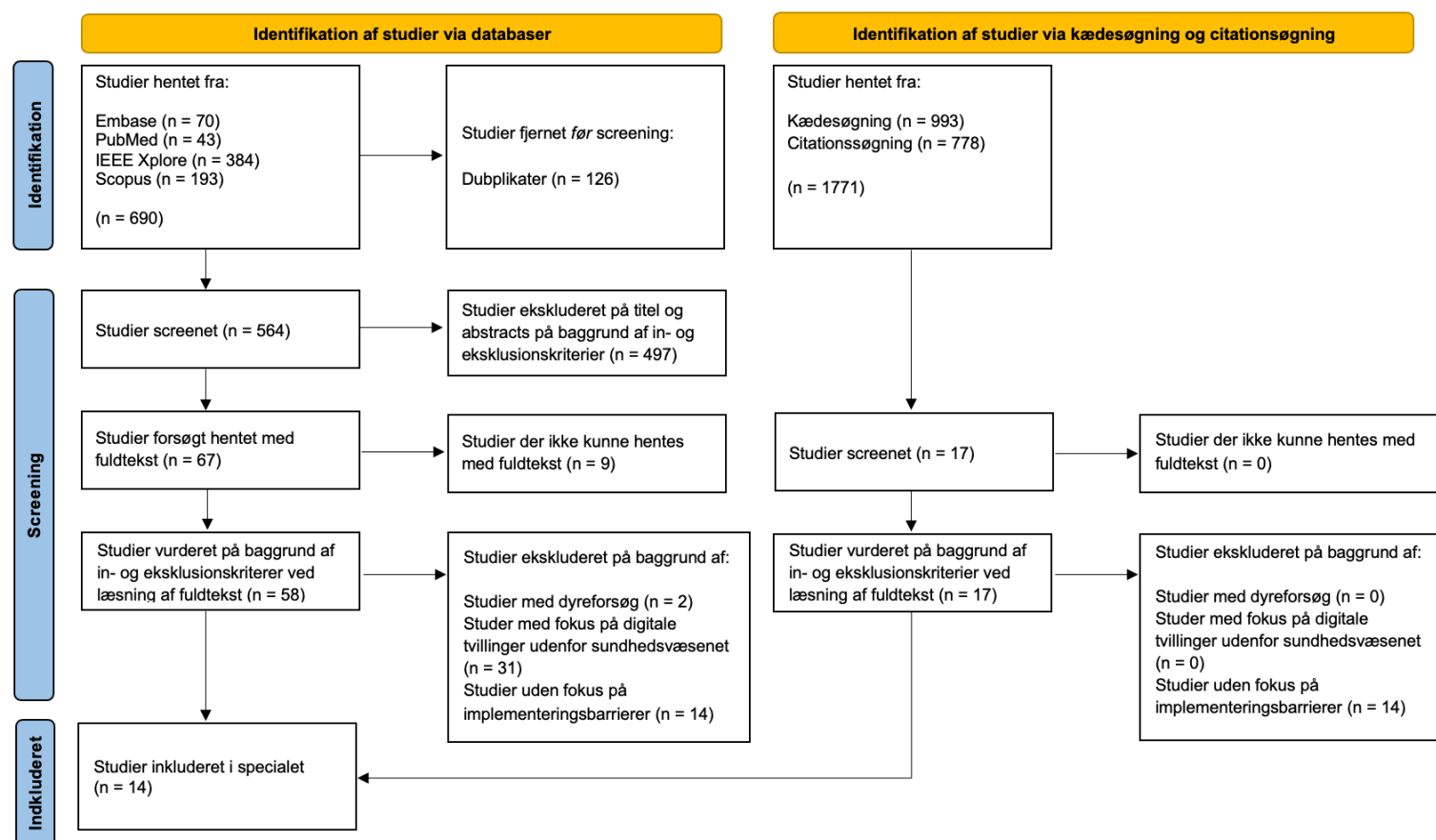
Tabel 3: Processen for kodning af temaer til specialets scoping review via fire steps.

5 Resultater

I det følgende kapitel præsenteres specialets resultater. Indledningsvis vil resultaterne fra specialets systematiske litteratursøgning, herunder kæde- og citationssøgning blive præsenteret. Efterfølgende præsenteres en kvalitetsvurdering af de inkluderede studier i scoping reviewet. Dernæst en præsentation af de identificerede potentielle implementeringsbarrierer via en matrix. Afslutningsvis præsenteres en oversigt over de identificerede temaer, og kortlægning heraf.

5.1 Selektionsprocessen for scoping review

Den strukturerede litteratursøgning resulterede i 690 studier, hvoraf 126 duplikater blev fjernet. De tilbageværende 564 studier blev vurderet ud fra titel og abstract ud fra in- og eksklusionskriterierne. Der blev ekskluderet 497 studier, hvor der efterfølgende blev forsøgt indhentet fuldtekst på de tilbageværende 67 studier. Der var ni studier, hvor der ikke kunne indhentes fuldtekst grundet konferenceabstracts eller ufuldstændige studier. Det resulterede i, at der blev indhentet fuldtekst på de resterende 58 studier til kritisk gennemlæsning med afsæt i in- og eksklusionskriterierne. I alt blev 14 studier inkluderet til specialets scoping review, hvoraf tre studier blev fundet gennem kæde- eller citationssøgning. Se flowchart i figur 3 for en visualiseret gennemgang af udvælgelsesprocessen til de inkluderede studier.



Figur 3: Udvælgelsesprocessen i den systematiske litteratursøgning, samt kæde- og citationssøgning visualiseret i Prisma Flowdiagram (Prisma-Statement, 2020).

5.2 Kvalitetsvurdering af de inkluderede studier

I tabel 4a og 4b ses resultaterne fra kvalitetsvurderingen af de 14 inkluderede studier, baseret på gennemlæsningen af studierne. I tabel 4a præsenteres kvalitetsvurderinger ud fra studietypen: reviews, som gjorde sig gældende for 13 af de 14 inkluderede studier. I tabel 4b præsenteres en kvalitetsvurdering for det sidste inkluderede studie med et kvalitativt studiedesign. Endvidere illustreres der både i tabel 4a og 4b, hvordan studierne blev scoret ud fra JBI Critical Appraisal Tools, og hvilken score det enkelte studie blev tildelt (JBla, 2017; JBib, 2017). Der henvises til bilag 5a og -5b for yderligere information om kvalitetsvurderingstjeklisterne.

Titel, forfatter og årstal	1 Problemet klart og eksplicit angivet	2 Inklusionskriterier	3 Søgestrategi	4 Kilder og ressourcer til søgning	5 Kriterier for vurdering af undersøgelsen	6 Kvalitetsvurdering af to eller flere personer	7 Metoder til at minimere fejl i dataudtræk	8 Anvendte metoder til at kombinere undersøgelser	9 Sandsynligheden for publikationsbias	10 Anbefalinger til politik og/eller praksis	11 Anledning til ny forskning	Point
1. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. (Fuller et al., 2020).	J	J	J	J	J	U	N	N	N	J	J	7/11
2. Digital Twins: From Personalised Medicine to Precision Public Health. (Boulos & Zhang, 2021).	J	U	U	N	U	N	U	U	N	J	N	2/11
3. Digital Twins in Healthcare: Methodological Challenges and Opportunities. (Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023).	J	U	U	N	U	N	N	U	U	J	N	2/11

4. Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges. (Sun, He & Le, 2023).	J	J	J	J	U	U	N	J	J	U	U	6/11
5. Digital Twins in Healthcare: Is It the Beginning of a New Era of Evidence-Based Medicine? A Critical Review. (Armeni et al., 2022).	J	U	U	N	J	N	N	N	N	J	J	4/11
6. A Systematic Literature Review of Digital Twin Research for Healthcare Systems: Research Trends, Gaps, and Realization Challenges. (Xames & Topcu, 2024).	J	J	J	J	J	J	J	J	N	J	J	10/11
7. Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. (Attaran & Celik, 2023).	J	J	J	J	U	U	J	N	N	U	N	5/11
8. Personal Digital Twin: A Close Look into the Present and a Step towards the Future of Personalised Healthcare Industry. (Sahal, Alsamhi & Brown, 2022).	J	J	U	N	N	N	N	N	N	J	J	4/11
9. Technical, Ethical, Legal, and Societal Challenges With Digital Twin Systems for the Management of Chronic Diseases in Children and Young People. (Drummond & Coulet, 2022).	J	N	U	J	J	N	U	J	N	J	N	5/11
10. Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects. (Mihai et al., 2022).	J	J	J	J	J	J	J	J	N	N	J	9/11
11. Digital Twins: The New Frontier for Personalized Medicine? (Cellina et al., 2023).	J	J	J	J	J	J	U	J	U	N	J	8/11
12. An appraisal of literature for design and implementation of developing a framework for digital twin and validation through cases studies. (Mohapatra & Bose, 2020).	J	J	J	J	J	J	N	J	U	J	J	9/11

13. Ethical Issues of Digital Twins for Personalized Health Care Service: Preliminary Mapping Study. (Huang, Kim & Schermer, 2022).	J	U	J	J	J	U	N	J	N	J	N	6/11
1-11 = JBI Critical Appraisal Tools: <u>Reviews</u> J = Ja Lav kvalitet = 1-4 point N = Nej Middel kvalitet = 5-8 point U = Uklart Høj kvalitet = 9-11 point I = Ikke relevant												

Tabel 4a: Kvalitetsscore på studier med review design (JBIa, 2017).

Titel, forfatter og årstal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Point
	Forskningsmetode passende til antagelser	Forskningsspørgsmålet	Metoder til indsamling af data	Præsentation og analyse af data	Fortolkning af resultater	Forskerens kulturelle eller teoretiske perspektiv	Forskerens indflydelse på forskningen	Deltagerne tilstrækkelig præsenteret	Etisk forsvarlig og dokumentation	Konklusion fra analyse eller fortolkning af data	
14. The use of digital twins in healthcare: socio-ethical benefits and socio-ethical risks. (Popa et al., 2021).	J	J	J	J	J	J	J	J	J	J	10/10
1-10 = JBI Critical Appraisal Tools: <u>Qualitative</u> J = Ja Lav kvalitet = 1-3 point N = Nej Middel kvalitet = 4-7 point U = Uklart Høj kvalitet = 8-10 point I = Ikke relevant											

Tabel 4b: Kvalitetsscore på studier med kvalitativt design (JBIb, 2017).

5.3 Identificering af implementeringsbarrierer i matrix

De 14 inkluderede studier ses præsenteret i matrixen i tabel 4. Den indeholder studierne titel, forfatter, årstal, formål, studiedesign, kvalitet: lav (rød-), middel (gul-) eller høj (grøn cirkel) pba. kvalitetsscoren og de identificerede potentielle implementeringsbarrierer, for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.

Matrix				
Titel	Forfatter og årstal	Formål	Studiedesign og kvalitet	Implementeringsbarrierer
1. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research.	(Fuller et al., 2020).	Identificere udfordringer med digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, og bidrage til udviklingen af den digitale tvilling i sundhedsvæsenet.	Litteraturreview. 	- Store datamængder, og dermed mangel på mulighed for at sikre individets privatliv. - It-infrastruktur. - Mangel på tillid fra sundhedsprofessionelle og befolkningen. - Mangel på standardisering. - Datasikkerhed.
2. Digital Twins: From Personalised Medicine to Precision Public Health.	(Boulos & Zhang, 2021).	Identificere etiske problematikker og konsekvenser, når en digital tvilling skal anvendes til at modellere individer i sundhedsvæsenet.	Litteraturreview. 	- Diskrimination af individet, herunder mangel på privatliv. - Databeskyttelse. - Gennemsigtighed i data. - Datatilgængelighed og kvalitet. - Bias. - Digitale tvillinger kan føre til uligheder i samfundet.
3. Digital Twins in Healthcare: Methodological Challenges and Opportunities.	(Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023).	Beskrive den metodiske udvikling af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, og undersøge de typer data det kræver at danne den digitale tvilling. Heraf hvilke implementeringsudfordringer det kan medføre.	Narrativ review. 	- Integration, herunder indsamling af store mængder data fra forskellige databaser anses som hindring. - Nødagtighed og effektivitet. - Individets privatliv. - Standardisering.
4. Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges.	(Sun, He & Le, 2023).	Beskrivelse af fremgangen indenfor digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Dernæst undersøge potentielle anvendelsesområder, muligheder og udfordringer for teknologien.	Narrativ review.	- Diskrimination eller forstyrrelse i den enkelte individs privatliv, og dermed problemer i bl.a. arbejdslivet. - Høje omkostninger ved digitale tvillinger. - Ulighed.

				- Algoritmernes resultater kontra den virkelige verden.
5. Digital Twins in Healthcare: Is It the Beginning of a New Era of Evidence-Based Medicine? A Critical Review.	(Armeni et al., 2022).	Identificere muligheder og barrierer ved implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, der fremmer eller hindre teknologiens hurtige udbredelse.	Review. 	- Komplexitet i sundhedssystemer, herunder dataindsamling. - Kombination af flere teknologier, som medfører kompleksitet. - Sikre individets privatliv, pga. store mængder patientdata. - Udfordringer med overholdelse af retningslinjer, herunder GDPR. - Økonomiske udfordringer. - Integration. - Brugervenlighed i software. - Kulturel modstand pga. deling af sundhedsdata, og udkonkurrere de sundhedsprofessionelle.
6. A Systematic Literature Review of Digital Twin Research for Healthcare Systems: Research Trends, Gaps, and Realization Challenges.	(Xames & Topcu, 2024).	Identificere, hvor langt udviklingen og forskningen indenfor digitale tvillinger i sundhedsvæsenet er. Endvidere hvilke udfordringer der opstår ved implementering.	Systematisk litteraturreview. 	- Mangel på teoretiske rammer for implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. - Udfordringer med overholdelse af retningslinjer, herunder GDPR. - Mangel på integration med nuværende it-systemer i sundhedsvæsenet. - Juridisk ansvar. - Tillid. - Digitale tvillinger til børn. - Økonomiske uligheder.
7. Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities.	(Attaran & Celik, 2023).	Undersøge udviklingen og anvendelse af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, og hvilke udfordringer der ligeledes kan opstå i forbindelse med implementering.	Litteraturreview. 	- Datastandardisering, datastyring og datasikkerhed. - Ændre i eksisterende sundhedssystemer, herunder opdatering af it-infrastruktur. - Omkostninger ved implementering og vedligeholdelse af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. - Mangel på en standardiseret modelleringstilgang.
8. Personal Digital Twin: A Close Look into the Present and a Step towards the	(Sahal, Alsamhi & Brown, 2022).	Forståelsen af udviklingen og brugen af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet,	Systematisk litteraturreview.	- Datasikkerhed bliver vanskeligt pga. stigende teknologisk funktionalitet.

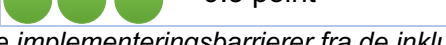
Future of Personalised Healthcare Industry.		herunder implementeringsudfordringer.		- Komplex sammenspil mellem fysiske enheder pga. daglige opdateringer. - Datakvalitet for at sikre individet. - Samtykke.
9. Technical, Ethical, Legal, and Societal Challenges With Digital Twin Systems for the Management of Chronic Diseases in Children and Young People.	(Drummond & Coulet, 2022).	Beskrivelse af udfordringer ved implementering ud fra et perspektiv, hvor digitale tvillinger skal anvendes på børn.	Review. 	- Ansvar, rettigheder og mangel på lovgivninger generelt i samfundet. - Teknologiske udfordringer, herunder kompleks implementering og datadeling. - Ethiske udfordringer med mangel på interaktion mellem sundhedsprofessionelle og patienter. - Overvågningssamfund.
10. Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects.	(Mihai et al., 2022).	Identificere hvilke aspekter der skal tages hensyn til ved implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.	Litteraturreview. 	- Mangel på evidens. - Udviklingsomkostninger, herunder vanskeligt at sætte pris på digitale tvillinger. - Mangel på standardisering. - Hvem har ansvaret?
11. Digital Twins: The New Frontier for Personalized Medicine?	(Cellina et al., 2023).	Beskrivelse af mulige anvendelsesmetoder med digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, og udfordringer i forbindelse med udvikling og implementering.	Narrativ review. 	- Mangel på databeskyttelse og overholdelse af GDPR. - Juridisk ansvar. - Psykologisk indvirkning på individet, når den digitale tvilling skal arbejde forebyggende. Betydning for individets selvværd. - Fejl i algoritmer. - Sikre kvaliteten, integriteten og interoperabilitet. - Upålidelighed. - Teknologisk kompleksitet, herunder validering og kalibrering.
12. An appraisal of literature for design and implementation of developing a framework for digital twin and validation through cases studies.	(Mohapatra & Bose, 2020).	Udvikle en ramme til implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.	Litteraturreview. 	- Mangel på evidens til implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.

13. Ethical Issues of Digital Twins for Personalized Health Care Service: Preliminary Mapping Study.	(Huang, Kim & Schermer, 2022).	Identificere etiske risici ved digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.	Kortlægningsundersøgelse. 	- Samtykke, privatliv og diskrimination. - Overvågning. - Ændring i forståelsen af sundhed. - Udfordring i interaktionen mellem læge og patienten. - Datakvalitet og hacking. - Overdiagnosticering. - Pålideligheden af avancerede teknologier.
14. The use of digital twins in healthcare: socio-ethical benefits and socio-ethical risks.	(Popa et al., 2021).	Beskrivelse af etiske fordele og ulemper ved digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.	Kvalitativt. 	- Sikkerhedsnedbrud pga. følsomt system. - Hvor ligger ansvaret. - Social ulighed. - Privatlivsnormer. - Ændring i personlig identitet og ansvar herunder sund "objektiviseres", og omdannes til datapunkter i algoritmer.

Tabel 5: Matrix over de inkluderede studier til scoping reviewet opdelt i titel, forfatter, årstal, formål, design, kvalitet og implementeringsbarrierer.

5.4 Tematisering

Ud fra de identificerede potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, blev der heraf opstillet otte temaer, som ses i tabel 5. Udover at illustrere de otte temaer, visualiseres der også i tabellen, hvilke studier, som indeholdte de enkelte temaer, hvor studierne er angivet fra nr. 1-14, som også afspejles i matrixen i tabel 4. Endvidere fremgår studiernes kvalitetscore med enten en grøn- (høj-), gul- (middel-) eller rød- (lav kvalitet) cirkel og gennemsnit kvalitet i point.

Temaer	Studier med indhold fra temaet	Kvalitet af studierne
Brugerperspektivet	1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11 og 14.	 = 6.2 point
Data	2, 5, 6, 8, 9, 11, 13 og 14.	 = 6.1 point
Teknologisk kompleksitet	1, 2, 3, 5, 10, 11, 13 og 14.	 = 6 point
Etik og GDPR	2, 4, 5, 6, 11, 13 og 14.	 = 6.6 point
Økonomi	4, 6, 7, 10, 11 og 13.	 = 7.3 point
Juridisk ansvar	5, 6, 10, 11 og 14.	 = 8.2 point
Infrastruktur og integration	1, 3, 5 og 7.	 = 4.5 point
Evidens i sundhedsvæsenet	6, 10 og 12.	 = 9.3 point

Tabel 6: Visualisering af temaer ud fra identificerede potentielle implementeringsbarrierer fra de inkluderede studier samt vurdering af kvalitet med point.

5.5 Kortlægning af resultater fra scoping reviewet

5.5.1 Brugerperspektivet (antal studier: 9, gennemsnit kvalitet: 6.2)

I scoping reviewet blev det identificeret, at potentielle implementeringer af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet kan udløse en frygt, grundet teknologien kan udkonkurrere de sundhedsprofessionelle. Det skyldes, at de sundhedsprofessionelle ikke kan behandle alt data fra individet (Armeni et al., 2022). Samtidig fremgik manglende tillid og forståelse af teknologien fra de sundhedsprofessionelle og befolkningen også som potentielle punkter under temaet (Cellina et al., 2023; Fuller et al., 2020; Xames & Topcu, 2024). Det skyldes at den digitale tvilling skal repræsentere individets adfærd, præferencer og personlige karakteristika i den virtuelle verden, og har dermed potentiale til at påvirke det enkelte individs omdømme og interaktioner (Sun, He & Le, 2023; Xames & Topcu, 2024; Cellina et al., 2023). Det betyder, at det komplekse forhold mellem den digitale tvilling og individet kan medføre situationer, hvor arbejdsforhold, livskvalitet, mental sundhed og hverdagen bliver påvirket negativt, når den digitale tvilling skal agere forebyggende (Sun, He & Le, 2023; Cellina et al., 2023; Sahal, Alsamhi & Brown, 2022).

Under temaet fremgik der også potentiel modstand fra både sundhedsprofessionelle og individet mod anvendelse af den digitale tvilling i sundhedsvæsenet, hvis teknologien påtvinges på individet for at opnå bedre sundhed, og dermed ikke er op til den enkelte at vælge (Drummond & Coulet, 2022; Armeni et al., 2022). Desuden hvis teknologien ikke kan forklare, hvordan algoritmerne når frem til et bestemt resultat, eller hvordan data behandles, kan det medføre, at individet mister kontrol over, hvordan deres personlige oplysninger anvendes (Popa et al., 2021). Dette kan medføre, at

individet får en følelse af, at de ikke kan skjule visse aspekter af deres liv, og samtidig ikke har mulighed for at holde deres oplysninger private. Dette kan resultere i, at de ikke kan opretholde en vis grad af anonymitet eller kontrol over, hvem der har adgang til deres datasæt (Popa et al., 2021; Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023). Det kan føre til bekymringer hos individet om, at deres privatliv ikke bliver tilstrækkelig beskyttet, hvilket også kan resultere i modstand mod teknologiens anvendelse (Popa et al., 2021; Cellina et al., 2023; Fuller et al., 2020; Xames & Topcu, 2024; Armeni et al., 2022; Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023). Under temaet blev anvendelsen af digitale tvillinger til børn også adresseret (Drummond & Coulet, 2022; Xames & Topcu, 2024). Der blev kort argumenteret for, at der kan opstå tab af menneskelig kontakt til børnelægerne, samtidig med at forældrenes adfærd også skal indgå i barnets digitale tvilling, hvilket beskrives som sårbart uden videre forklaring (Ibid).

5.5.2 Data (antal studier: 8, gennemsnit kvalitet: 6.1)

Under temaet blev spørgsmålet om datasikkerhed adresseret i forhold til udviklingen af CloudDTH-systemet (Xames & Topcu, 2024; Armeni et al., 2022). Hvis der ikke udarbejdes sikkerhedsforanstaltninger, herunder kryptering og adgangsbegrænsninger for de digitale tvillinger, kan det medføre en øget risiko for uautoriseret adgang eller misbrug af data. Dette udfordrer kravet om datasikkerhed og beskyttelse af individets privatliv (Cellina et al., 2023; Sahal, Alsamhi & Brown, 2022; Boulos & Zhang, 2021; Xames & Topcu, 2024; Armeni et al., 2022). Dog vanskeliggøres muligheden for datasikkerhed, pga. teknologiens stigende funktionalitet (Sahal, Alsamhi & Brown). Den potentielle implementering af digitale tvillinger påvirker både raske og syge individer, hvor hvert individ skal have sin egen tvilling. Ud fra denne udtagelse påpeges endnu et punkt under temaet, omhandlende et potentielt overvågningssamfund, pga. den store mængde tilgængelige og personlige data (Drummond & Coulet, 2022; Huang, Kim & Schermer, 2022; Boulos & Zhang, 2021).

Digitale tvillinger er afhængige af nøjagtige data fra forskellige systemer, herunder elektroniske sundhedsjournaler, medicinsk udstyr samt wearables. Det kan være en udfordring at sikre kvaliteten af de forskellige datasæt, da inkonsistente eller ufuldstændige data kan resultere i upålidelige digitale tvillinger (Cellina et al., 2023; Boulos & Zhang, 2021). Desuden kan manglen på standardiserede modeller for implementering medføre interoperabilitets udfordringer. Hvert sundhedsvæsen kan have specifikke krav og dataformater, hvilket kan gøre det vanskeligt både at udveksle og kombinere data til de digitale tvillinger mellem forskellige sundhedssystemer (Ibid). Sikkerhedsnedbrud betragtes også som et punkt under temaet, da CloudDTH-systemet er mere følsomt pga., at hele individets datasæt samles i én enhed, i modsætning til nuværende systemer, hvor patientjournaler er spredte (Popa et al., 2021; Sahal, Alsamhi & Brown, 2022).

Et andet argument for at betragte data som en potentiel implementeringsbarriere er grundet kompleksiteten i at opbygge digitale tvillinger. Det skyldes det nødvendige løbende samspil mellem individets fysiske enheder og den virtuelle del, for at realisere potentialet for løbende opdateringer og forebyggende handlinger (Sahal, Alsamhi & Brown, 2022; Huang, Kim & Schermer, 2022). Det påpeges, at individets personlige sensorer og wearables, som leverer data til den digitale tvilling, kan resultere i nedsat datakvalitet pga. datatab, vejrforhold og sensors batteri levetid, hvilket vil påvirke datakvaliteten (Ibid). Selvom årsagerne til forringet datakvalitet er kendte, er strategier til at imødekomme udfordringerne stadig en del af sundhedsvæsenet (Sahal, Alsamhi & Brown, 2022).

5.5.3 Teknologisk kompleksitet (antal studier: 8, gennemsnit kvalitet: 6)

Digitale tvillinger udgør en teknologisk kompleksitet med mangel på standardisering af teknologien i sundhedsvæsenet (Mihai et al., 2022). Det skyldes, at digitale tvillinger kombinerer forskellige teknologier, herunder bl.a. kunstig intelligens, Internet of Things samt Big data. Disse teknologier indeholder hver sine egne udfordringer, hvilket resulterer i en teknologisk kompleksitet før potentiel implementering (Armeni et al., 2022). I sundhedsvæsenet er visse dele af teknologierne, der udgør den digitale tvilling stadig i udviklingsfasen, for at kunne anvendes i flere forskellige specialer (Ibid). Manglen på udvikling inden for de enkelte teknologier medfører tekniske begrænsninger, hvor udfordringerne relaterer sig til muligheden for fuldstændig dataindsamling og videreudvikling af digitale tvillingers softwaredesign (Ibid).

Et andet aspekt der fremgik under den teknologiske kompleksitet, var at individets data er spredt ud over forskellige it-systemer, og samtidig kan forekomme i forskellige formater (Cellina et al., 2023; Boulos & Zhang, 2021; Popa et al., 2021; Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023). Dette problem opstår pga. mangel på standardiserede tilgange til at indsamle individets sundhedsdata (Ibid). Individets data kan være i et ustruktureret format, hvilket gør det sværere at organisere på en standardiseret eller let analyserbar måde. Dette vil kræve enten manuelt arbejde eller yderligere automatisering gennem udvikling af sprogbehandlingsteknologier (Mihai et al., 2022; Armeni et al., 2022; Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023).

Teknologisk kompleksitet i udviklingen af algoritmerne til de digitale tvillinger i sundhedsvæsenet betragtes også som et punkt under temaet (Armeni et al., 2022; Cellina et al., 2023; Boulos & Zhang, 2021; Huang, Kim & Schermer, 2022). Dette skyldes algoritmernes begrænsninger i at håndtere biologiske forskelle hos individerne, som videre kan påvirke pålideligheden af resultaterne fra de digitale tvillinger (Ibid). Det vil betyde, at algoritmerne i hver enkelt digitale tvilling skal kalibreres og

valideres (Cellina et al., 2023; Armeni et al., 2022; Boulos & Zhang, 2021). Desuden kan pålideligheden af Deep learning i den digitale tvilling til at detektere sammenhænge mellem forskellige variable, for at teknologien kan udføre forebyggende handlinger blive alvorligt kompromitteret. Denne barriere vil opstå, hvis de datasæt der anvendes til at træne algoritmerne, ikke afspejler det miljø, som de skal navigere i (Huang, Kim & Schermer, 2022). Endvidere hvis der indsamles og bruges store mængder data uden individuel regulering, kan det føre til udvikling af algoritmer, som er præget af bias (Cellina et al., 2023; Armeni et al., 2022; Boulos & Zhang, 2021; Huang, Kim & Schermer, 2022). Det kan også betyde, at tilliden til algoritmerne kan blive udfordret, da de sundhedsprofessionelle ikke har forståelse for kompleksiteten af svarende, herunder manglende gennemsigtighed, hvilket betyder at de ikke kan anvendes til beslutningsstøtte (Armeni et al., 2022; Cellina et al., 2023; Fuller et al., 2020; Huang, Kim & Schermer, 2022).

5.5.4 Etik og GDPR (antal studier: 7, gennemsnit kvalitet: 6.6)

Etik og GDPR betragtes også som en potentiel implementeringsbarriere for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Det skyldes, at integrering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet medfører potentielle komplekse etiske problemstillinger i relation til overholdelse af GDPR-lovgivningen (Armeni et al., 2022; Huang, Kim & Schermer, 2022). I henhold til GDPR skal individets data være transparent, og individet har samtidig krav til en forklaring på, hvordan et bestemt resultat er fremkommet. Dette kan dog være en udfordring, da komplekse algoritmer kan gøre vanskeligt at forklare resultatets fremkomst (Ibid). Forud for en potentiel implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet er det afgørende at udarbejde nye lovkrav, der er i overensstemmelse med GDPR, herunder retten til at trække sit samtykke tilbage (Ibid). En anden etisk udfordring er, hvordan individet repræsenteres i deres digitale tvilling. Det er afgørende at indføre en bestemmelse om et dynamisk samtykke for at sikre, at individet har kontrol over deres egen digitale repræsentation (Xames & Topcu, 2024; Huang, Kim & Schermer, 2022). Desuden er den potentielle krænkelse af individets ret til privatliv og autonomi en stor bekymring, når omfanget af dataindsamlingen ikke er klart defineret, hvilket kan føre til manglende informeret samtykke, og manglende patientsikkerhed (Ibid).

Potentiel implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet indebærer også et stort ansvar, og kan udfordre eksisterende værdier og normer i sundhedsvæsenet (Huang, Kim & Schermer, 2022). Ved at fokusere på forebyggelse kan digitale tvillinger både give patienter og raske individer indsigt i kommende alvorlige sygdomme eller lidelser. Denne indsigt kan føre til angst, bekymring samt føre til potentiel diskrimination og krænkelse af privatlivet, både i hverdagen og på arbejdspladsen (Sun, He & Le, 2023; Huang, Kim & Schermer, 2022; Boulos & Zhang, 2021). Desuden kan digitale

tvillinger afsløre genetiske profiler, der har tendens til at præstere bedre i både sundhed og overlevelse. Dette kan resultere i udvælgelse af specifikke individer til bestemte jobs, baseret på deres genetiske profil, og samtidig medføre ulighed i samfundet (Armeni et al., 2022; Boulos & Zhang, 2021). Et andet argument for etik anses som en potentiel implementeringsbarriere, er den øgede risiko for ændringer i individets personlige identitet og ansvar (Popa et al., 2021). Dette skyldes, at individets data objektiviseres gennem konkrete datapunkter i de digitale tvillingers algoritmer, hvilket kan føre til en mekanisk og reduceret forståelse af individets helbredstilstand (Popa et al., 2021; Huang, Kim & Schermer, 2022).

5.5.5 Økonomi (antal studier: 6, gennemsnit kvalitet: 7.3)

Opbygningen og vedligeholdelsen af infrastrukturen til de digitale tvillings kan være dyrt (Cellina et al., 2023; Attaran & Celik, 2023). Sundhedsvæsener med begrænsede ressourcer kan stå over for udfordringer med at implementere og vedligeholde digitale tvillinger, pga. økonomiske- og ressourcemæssige begrænsninger (Ibid). Endvidere udgør udarbejdelsen af et budget til udvikling og implementering af de digitale tvillinger en udfordring, pga. teknologiens mange anvendelsesområder (Mihai et al., 2022). De høje omkostninger ved implementering, kan føre til ulighed mellem sundhedsvæsener, og dermed forværre eksisterende socioøkonomiske forskelle (Sun, He & Le, 2023; Xames & Topcu, 2024).

Under temaet fremgik det også, at en potentiel implementering af de digitale tvillinger ikke nødvendigvis vil resultere i en økonomisk gevinst, pga. teknologiens kompleksitet og behov for ressourcer (Cellina et al., 2023). Den individuelle kalibrering af algoritmerne i den digitale tvilling øger omkostningerne ved udvikling og implementering (Huang, Kim & Schermer, 2022; Cellina et al., 2023; Mihai et al., 2022). Det kræver specialiseret ekspertise og ressourcer at tilpasse og validere algoritmerne for hvert individ, hvilket skaber en økonomisk implementeringsbarriere (Sun, He & Le, 2023; Huang, Kim & Schermer, 2022). Desuden kan det have indvirkning på skalerbarheden af den digitale tvilling, da den individuelle kalibrering kan begrænse mulighederne for at udbrede teknologien til en bredere patientpopulation (Huang, Kim & Schermer, 2022; Cellina et al., 2023).

5.5.6 Juridisk ansvar (antal studier: 5, gennemsnit kvalitet: 8.2)

Når algoritmerne ikke lever op til de forventede resultater, opstår den potentielle implementeringsbarriere om det juridiske ansvar (Popa et al., 2021; Cellina et al., 2023; Mihai et al., 2022; Xames & Topcu, 2024; Armeni et al., 2022). Det skyldes, at hvis der opstår fejldiagnosticering ud fra individets

data, er der ingen klarhed over, hvem der ansvaret i tilfælde af disse fejl. Dette skyldes både manglende juridiske retningslinjer, og den manglende gennemsigtighed i algoritmerne (Ibid).

5.5.7 Infrastruktur og integration (antal studier: 4, gennemsnit kvalitet: 4.5)

Indsamling og integration af store mængder data fra forskellige sundhedssystemer udgør et punkt under infrastruktur og integration (Armeni et al., 2022; Fuller et al., 2020; Attaran & Celik, 2023; Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023). Det fremhæves, at sundhedsvæsenets it-udstyr, herunder software er forældet, og der mangler brugervenlige software for at kunne implementere digitale tvillinger i sundhedsvæsenet (Ibid). Integrationen af disse systemer udgør også en udfordring, pga. kompleksiteten i sundhedsvæsenets it-infrastruktur, og samtidig mangler der en standardiseret modelleringstilgang til de digitale tvillinger (Ibid). Sundhedsvæsenets infrastruktur består af mange forskellige systemer og applikationer, herunder f.eks. sundhedsjournaler og wearables, hvilket kan gøre implementeringsprocessen udfordrende og langsommelig. Dette skyldes også, at algoritmerne i de digitale tvillinger skal udvikles og integreres med de nuværende it-systemer, der samles i CloudDTH (Ibid).

5.5.8 Evidens i sundhedsvæsenet (antal studier: 3, gennemsnit kvalitet: 9.3)

En potentiel implementeringsbarriere for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet er også mangel på evidens i form af mangel på videnskabelige studier, der undersøger effekten af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet (Mihai et al., 2022; Mohapatra & Bose, 2020; Xames & Topcu, 2024). Det medfører en udfordring forud for en potentiel implementering i sundhedsvæsenet, pga. teknologiens indflydelse på sundhedsvæsenet er ukendt, herunder med mangel på videnskabelig dokumentation (Ibid).

5.6 Opsummering af resultater

Der blev i scoping reviewet identificeret flere potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Det mest centrale under første tema (brugerperspektivet), var den potentielle modstand mod implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Dette skyldes primært bekymringer vedrørende beskyttelse af individets privatliv, tillid, manglende gennemsigtighed omkring teknologiens funktion og potentielt udkonkurrering af de sundhedsprofessionelle (Drummond & Coulet, 2022; Meijer, Uh & Bouhaddani, 2023; Fuller et al., 2020; Popa et al., 2021; Armeni et al.,

2022). Desuden kan repræsentation af individets adfærd, præferencer og personlige karakteristika i et virtuelt format være medvirkende til at påvirke individets omdømme og interaktioner (Sun, He & Le, 2023; Xames & Topcu, 2024; Cellina et al., 2023). I andet tema (data) var det mest centrale den manglende datasikkerhed ved udvikling af CloudDTH-systemet, og frygten for et overvågningssamfund (Xames & Topcu, 2024; Drummond & Coulet, 2022; Huang, Kim & Schermer, 2022). Endvidere var mangel på standardiserede implementeringsmodeller og kompleksiteten i anvendelse af digitale tvillinger centralt for temaet, hvilket vil udfordre kontinuerlige opdateringer fra individets personlige wearables. Ydermere blev udfordringen med at sikre datakvaliteten i datasættene fra de forskellige sundhedssystemer tydeligt fremhævet (Cellina et al., 2023; Boulos & Zhang, 2021). I tredje tema (teknologisk kompleksitet) var det mest centrale, at digitale tvillinger kombinerer forskellige teknologier bl.a. kunstig intelligens og Internet of Things, som udgør en teknologisk kompleksitet grundet flere af teknologierne, er i en udviklingsfase (Armeni et al., 2022). Algoritmerne begrænser også potentialet for digitale tvillinger, pga. deres manglende evne til at håndtere biologiske forskelle hos individerne. Dette kan påvirke pålideligheden af resultaterne, og kræver kalibrering og validering af algoritmerne i hver enkelt digitale tvilling (Armeni et al., 2022; Cellina et al., 2023; Boulos & Zhang, 2021; Huang, Kim & Schermer, 2022). I fjerde tema (etik og GDPR) var det mest centrale den manglende overholdelse af GDPR-lovgivningen, og den potentielle etiske uforsvarlighed i at give individet indsigt i fremtidige sundhedsproblemer (Xames & Topcu, 2024; Armeni et al., 2022; Huang, Kim & Schermer, 2022). I femte tema (økonomi) var det mest centrale udfordringen i at udarbejde et budget til udvikling og implementering af de digitale tvillinger, pga. teknologiens mange anvendelsesområder (Mihai et al., 2022). Desuden fremgik det, at digitale tvillinger ikke nødvendigvis resulterer i en økonomisk gevinst, pga. teknologiens kompleksitet, herunder pga. den individuelle kalibrering af algoritmerne og dertilhørende ressourcer (Huang, Kim & Schermer, 2022; Cellina et al., 2023; Mihai et al., 2022). I sjette tema (juridisk ansvar) var det mest centrale, hvem ansvaret ligger hos, når algoritmerne ikke stemmer overens med de forventede resultater, og manglende gennemsigtighed i algoritmerne (Popa et al., 2021; Cellina et al., 2023; Mihai et al., 2022; Xames & Topcu, 2024). I syvende tema (infrastruktur og integration) var det mest centrale, at sundhedsvæsenets it-systemer er forældet, og der mangler brugervenlige software for at kunne implementere digitale tvillinger i sundhedsvæsenet (Armeni et al., 2022; Fuller et al., 2020; Attaran & Celik, 2023). I ottende tema (evidens i sundhedsvæsenet) var det mest centrale den manglende evidens, i form af mangel på videnskabelige studier omkring effekten af den digitale tvilling i sundhedsvæsenet (Mihai et al., 2022; Mohapatra & Bose, 2020; Xames & Topcu, 2024).

6 Diskussion

I det følgende kapitel diskuteres specialets resultater fra scoping reviewet samt anvendte metoder.

6.1 Resultatdiskussion

Formålet med specialet var at undersøge potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, samt undersøge teknologiens modenhed. Dette blev gjort ved udarbejdelse af et scoping review, hvor der blev identificeret otte temaer relateret til potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. De største temaer var brugerperspektivet, data samt teknologisk kompleksitet, grundet disse temaer bl.a. blev adresseret flest gange i de inkluderede studier.

Der mangler specifikke sammenligningspunkter på området omkring digitale tvillinger i sundhedsvæsenet ud fra temaerne, hvormed det er nødvendigt at brede perspektivet lidt mere ud til et relaterbart emne. Der er blevet implementeret kunstig intelligens inden for strålebehandling, hvor der forud for implementeringen opstod nogle af de samme barrierer, som dem der blev identificeret i specialets scoping review. Mangel på tillid til teknologien opstod som implementeringsbarriere inden for kunstig intelligens i strålebehandling. Det resulterede i, at både sundhedsprofessionelle og patienter havde svært ved at forstå og acceptere teknologien. Denne barriere blev også identificeret under brugerperspektivet i scoping reviewet. Desuden var sammenlignelige barrierer i relation til scoping reviewets temaer om data og teknologisk kompleksitet den manglende standardisering af teknologien, systematiske fejl i algoritmer og spredt patientdata i sundhedssystemerne (Eltawil et al., 2023; Siddique & Chow, 2020; Ahmed et al., 2023). For at overvinde disse barrierer blev der udviklet cloud-baserede programmer med algoritmer baseret på Machine Learning. Desuden blev der udviklet avanceret computerteknologi til at integrere og kombinere data. Endvidere blev der udført valideringsprocesser af algoritmerne, og udviklet brugervenlige systemer, som kunne integreres med de eksisterende sundhedssystemer. Algoritmerne blev også udviklet til at kunne tilpasse sin forklarlighed til konteksten, så der hos de sundhedsprofessionelle ikke opstod modstand mod anvendelsen af teknologien under implementeringsfasen og efterfølgende i arbejdsgangen (Siddique & Chow, 2020; Chomutare et al., 2022; Thompson et al., 2018).

I både USA og Storbritannien har implementeringen af generelle sundhedsteknologier også stødt på lignende barrierer, som nogle af dem der blev identificeret i specialets scoping review. Disse omfattede modstand mod forandring blandt sundhedsprofessionelle, og vanskeligheder med at forstå

teknologien, som også fremgik under brugerperspektivet. En anden sammenlignelig barriere omfattede forringet datasikkerhed bl.a. pga. infrastrukturen i sundhedsvæsenet, som også gjorde sig gældende i scoping reviewets tema om data (Nascimento et al., 2023). For at overvinde disse barrierer blev der udviklet forskellige strategier, hvor en afgørende tilgang var at fremme tværprofessionelt samarbejde, hvor viden og indsigt fra bl.a. samfunds-, adfærds- og ingeniørvidenskab samt erhvervslivet blev integreret. Ligeledes blev der anvendt ressourcer på tværs af organisationer, og samarbejdet mellem ledere i flere organisationer for at undgå ad hoc planlægning. Endvidere var det klart, at forskellige sundhedsprofessionelle havde forskellige behov, hvilket understregede vigtigheden i, at der blev udarbejdet skræddersyet uddannelse. Uddannelsen blev gennemført kort før implementeringen, for at undgå at de sundhedsprofessionelle skulle glemme væsentlige aspekter. En løbende evaluering af fremskridt blev også fremhævet som essentiel, hvor realtids- og longitudinelle dataindsamlingsstrategier blev anvendt. Ydermere blev styring af forventninger og løbende kritisk evaluering anvendt som et centralt element, for at en vellykket implementering af en sundhedsteknologi kunne finde sted (Gemert-Pijnen, 2022; Cresswell, Bates & Sheikh, 2013; Nascimento et al., 2023).

Feltet om digitale tvillinger i sundhedsvæsenet er nyt og komplekst, og dermed kan manglende kvalitet i de inkluderede studier resultere i unøjagtige resultater, hvormed dette kan vanskeliggøre at identificere alle relevante studier. Et gennemgående problem på tværs af studierne var, at den udførte litteratursøgning enten ikke var tilstrækkelig beskrevet eller slet ikke beskrevet. Den utilstrækkelige beskrivelse af litteratursøgningen kan gøre det problematisk at vurdere validiteten og pålideligheden af studiernes resultater. Det kan også medføre manglende reproducerbarhed, og ufuldstændige resultater. Dog blev der i dette speciale udarbejdet et scoping review, hvor formålet var at undersøge potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Pga. dette fokus var den manglende beskrivelse af litteratursøgningen i studierne ikke et stort problem. Selvom studierne kan have et dårligt studiedesign, er det ikke så kritisk i et scoping review, da interessen var at identificere barrierer, herunder inkludere alt relevant litteratur, og ikke udarbejde et effektstudie. I de inkluderede studier var der også en tendens til at vurderingen af risikoen for bias manglede, hvilket potentielt også kunne påvirke pålideligheden af de fremlagte resultater i scoping reviewet, og dermed hvor meget der egentlig kan stoles på de fremanalyseret resultater. Disse observationer indikerer behovet for yderligere forskning inden for specifikke områder om digitale tvillinger, for at opnå et højere niveau af evidens, og for at udfylde evt. videnshuller i litteraturen. Desuden havde temaet infrastruktur og integration en samlet lav kvalitetscore. Det understreger også vigtigheden af at undersøge dette område nærmere i fremtidig forskning, for at opnå en højere evidensbaseret forståelse af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.

Sundhedsvæsenets øgede interesse og investeringer i digitale tvillinger har medført en stigende opmærksomhed omkring teknologiens modenhed. Flere forskningsorganisationer arbejder på forskellige dele af den digitale tvilling, og samtidig forsøger de at løse nogle af de dokumenterede barrierer, som også er identificeret med højt evidensniveau i dette speciale. Dette ved udviklingen af integrationssystemet CloudDTH, og ved anvendelse af teknologien Blockchain (Xames & Topcu, 2024). Blockchain krypterer og lagre data i forskellige blokke, og dermed er alt data ikke gemt et sted, så data beskyttes i sundhedssystemet (Haleem et al., 2021). Nogle af de barrierer, der blev identificeret i scoping reviewet, hvor den største opmærksomhed skulle tillægges, er netop dem, der arbejdes på at løse. Det kan også være medvirkende til at højne specialets resultater og fremhæve, at fundene i scoping reviewet både er meningsfulde og anvendelige. Det betyder også, at der er kohærens mellem de identificerede barrierer og de løsninger, der udvikles, hvilket også kan være medvirkende til at validere specialets resultater. I scoping reviewet blev tværprofessionelt samarbejde eller uddannelse af sundhedsprofessionelle ikke identificeret som potentielle barrierer. Disse barrierer blev identificeret i forbindelse med implementeringer af generelle sundhedsteknologier. Under disse barrierer blev der fremhævet, at manglende kommunikation kan have stor betydning forud for en potentiel implementering. Desuden kan forskellige sundhedsprofessionelle have forskellige arbejdskulturer og tilgange til teknologi (Gemert-Pijnen, 2022; Nascimento et al., 2023). Endvidere var der en forventning hos specialemedlemmet om, at mulig overdiagnosticering ville være fremkommet som en potentiel implementeringsbarriere for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet pba. teknologiens muligheder og specialets fokus på forebyggelse. Selvom der allerede er igangsat flere processer for at udvikle teknologiens modenhed, kan det alligevel give en indikation om, at der fortsat mangler evidens på nogle af de potentielle implementeringsbarrierer, hvor yderligere forskning og evaluering vurderes nødvendigt. Digitale tvillinger vurderes til at være på et eksperimentelt plan, og samtidig kan der i litteraturen ikke fastsættes en tidsramme på, hvornår implementeringen potentielt er klar. Desuden kræver realiseringen af digitale tvillingers fulde potentiale ændringer i lovgivningen, herunder om juridisk ansvar, overvågning og databeskyttelse. Det betyder også, at yderligere forskning og evaluering skal være med til at forbedre teknologien og dens anvendelse, for at kunne realisere potentielle implementeringer i fremtiden, og for at digitale tvillinger kan blive en integreret del af sundhedsvæsenet. Samtidig kræves det forud for implementeringen, at brugerne overbevises om nødvendigheden i at implementere digitale tvillinger i sundhedsvæsenet.

6.2 Metodediskussion

Ved gennemlæsning af de inkluderede studier, der blev opnået gennem den systematiske litteratursøgning samt kæde- og citationssøgning, opstod der nye potentielle søgeord, som ikke blev anvendt

i den systematiske litteratursøgning. Det kan give en indikation om, at de oprindelige søgeord ikke var tilstrækkelige, som dermed har kunne påvirke validiteten af den systematiske søgning, herunder specialets resultater. Dette indikerer, at den systematiske søgning skulle have været udført anderledes, da følgende søgeord var optrædende flere gange i de inkluderede studier: "virtual twins", "human digital twins", "data-driven health care" samt "digital health". Endvidere blev tre ud af de 14 inkluderede studier fundet via enten kæde- eller citationssøgning, hvor også nogle af de nye søgeord var optrædende. Heraf kunne der være udført kæde- og citationssøgning på de nye søgeord der blev fundet, med henblik på at opnå datamætning. Det kunne også have resulteret i, at der kunne være fremanalyseret nye områder på de søgeord der manglede, hvor der potentielt kunne være mere litteratur. Grundet en begrænset tidsperiode til specialeskrivningen, var det dog ikke muligt at følge til ende.

En styrke ved specialets metode var den kvalitetsvurdering der blev anvendt til at vurdere de inkluderede studier, baseret på Shaheen's et al. (2023) argumentation (Shaheen et al., 2023). Selvom specialet primært var baseret på Arksey og O'Malleys stadier, blev denne tilgang alligevel suppleret med en kvalitetsvurdering ud fra JBI-guiden. Dog kunne der alligevel være opstået potentiel bias i forbindelse med den individuelle kvalitetsvurdering og scoring af studierne, da disse vurderinger kun blev foretaget af specialemedlemmet. Dette kan være forbundet med større usikkerhed, og påvirke validiteten af resultaterne. Det kunne derfor have styrket metoden at inddrage forskertriangulering i vurderingsprocessen, for at minimere risikoen for bias, og sikre en mere objektiv bedømmelse af studiernes kvalitet. Denne tilgang blev allerede anvendt under udvælgelsesprocessen af de inkluderede studier, hvor vejleder eller studiekammerat blev kontaktet ved tvivl om in- eller eksklusion af et studie.

Under analysen af data og tematisering fremkom en udfordring, da der ikke eksisterede en etableret teoretisk ramme, der kunne vejlede processen med at identificere relevante temaer eller fastsætte kriterierne for, hvor hyppigt et nøgleord skulle optræde for at blive betragtet som et tema. Den manglende ramme nødvendiggjorde udarbejdelse af egen ramme til analysen, for at sikre reproducerbarhed, øget gennemsigtighed og troværdighed af processen, som dermed blev en styrke for specialets metode.

7 Konklusion

I følgende kapitel præsenteres specialets konklusion.

Specialets problemformulering lød følgende: *Hvilke potentielle barrierer skal man være opmærksom på i forhold til en succesfuld implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, og hvor moden er teknologien?*

I specialets scoping review blev der identificeret otte temaer relateret til potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Disse temaer blev både undersøgt og vurderet ud fra deres kvalitet og troværdighed. De identificerede temaer var følgende: brugerperspektivet, data, teknologisk kompleksitet, etik og GDPR, økonomi, juridisk ansvar, infrastruktur og integration samt evidens i sundhedsvæsenet. Ud fra de identificerede implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet skal den største opmærksomhed være på temaerne: brugerperspektivet, data samt teknologisk kompleksitet. Dette skyldes, at de blev hyppigst adresseret i de inkluderede studier, men samtidig også pga. det er vigtige temaer i forhold til at overbevise de sundhedsprofessionelle om, at det rent faktisk giver mening at anvende teknologien i deres arbejdsgang. Det er også vigtigt med opmærksomhed på disse temaer pga., at befolkningen skal acceptere teknologien, for at teknologien kan blive tilpasset deres behov og forventninger. Dette for også at kunne realisere potentialet for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet, herunder for også at opnå succesfulde implementeringer.

Implementeringen af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet er en kompleks proces, hvor der kan opstå flere forskellige potentielle barrierer. Specialet bidrager med viden om, hvilke potentielle implementeringsbarrierer der er vigtigst at være opmærksom på, herunder hvilke potentielle barrierer der skal tages højde for først eller hvad der egentlig mest kigges hen mod nu. Endvidere er teknologens modenhed på et stadie, hvor der i litteraturen ikke fastsættes en tidsramme på, hvornår implementeringen af digitale tvillinger potentielt er klar. Ydermere udfører flere forskningsorganisationer i øjeblikket pilotprojekter, hvor de tester forskellige dele af den digitale tvilling. Samtidig arbejdes der på fortsat at overvinde helt fundamentale implementeringsbarrierer.

8 Perspektivering

I følgende kapitel præsenteres specialets perspektivering.

Der skal gøres en betydelig indsats for at overvinde de identificerede potentielle implementeringsbarrierer for digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. Den opnåede viden gennem specialets fund vurderes brugbare, hvor disse fund kan benyttes som afsæt til yderligere videnskabelig forskning. Fremtidig videnskabelig forskning kunne med fordel fokusere på f.eks. infrastruktur og integration i sundhedsvæsenet, da dette tema blev anset i specialets fund med manglende troværdighed og evidens. Den specifikke type undersøgelse for videre videnskabelig forskning afhænger af formålet (Brinkmann & Tanggaard, 2020). Dog kunne et eks. være udførelse af casestudier i sundhedsvæsenet, hvor der allerede udforskes med at implementere dele af den digitale tvilling. Dette med henblik på, at få et indblik i deres erfaringer og udfordringer, og samtidig supplere det med kvantitativ forskning, for også at mindske yderligere potentielle implementeringsbarrierer. Et andet eks. kunne være udarbejdelse af en interessantanalyse, for at identificere og analysere de forskellige interesser der er i implementeringsprocessen. Det kunne være de sundhedsprofessionelle, it-afdelinger, ledere, patienter og udviklere, for at forstå deres individuelle behov, bekymringer og incitamenter. Det kunne også være medvirkende til at fremhæve teknologiens udviklingspotentiale, og dermed fremme kendskabet og trygheden til teknologien, og mindske potentielle implementeringsbarrierer. Endvidere kunne der fremtidigt også tages udgangspunkt i kliniske effekter af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet med udgangspunkt i allerede eksisterende videnskabelig forskning. Det kunne indebære forskning omkring udvikling og implementering af både digitale tvillinger og kunstig intelligens i sundhedsvæsenet. Formålet med dette kunne også være at øge troværdigheden af scoping reviewets tema om evidens i sundhedsvæsenet.

Referenceliste

- Ahmed, M.I., Spooner, B., Isherwood, J., Lane, M., Orrock, E. and Dennison, A. (2023). A Systematic Review of the Barriers to the Implementation of Artificial Intelligence in Healthcare. National Library of Medicine. Vol.15(10), p. 1-14. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10623210/>. (Besøgt d. 30/04/24).
- Alowais, S.A., Alghamdi, S.S., Alsuhebany, N., Alqahtani, T., Alshava, A.I., Almohareb, S.N., Aldairem, A., Saleh, K.B., Badreldin, H.A., Yami, M., Harbi, S. and Albekairy, A.M. (2023). Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. BMC Medical Education. 23:689, p. 1-15. Tilgængelig hos: <https://bmcmmededuc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12909-023-04698-z>. (Besøgt d. 12/02/24).
- Alrashed, S., Min-Allah, N., Ali, I. and Mehmood, R. (2022). COVID-19 outbreak and the role of digital twin. National Library of Medicine. Vol.81(19), p. 1-14. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8721629/>. (Besøgt d. 01/02/24).
- Amann, J., Blasimme, A., Vayena, E., Frey, D., and Madai, V.I. (2020). Explainability for artificial intelligence in healthcare: a multidisciplinary perspective. BMC Medical Informatics and Decision Making. 20:310, p.1-9. Tilgængelig hos: <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01332-6>. (Besøgt d. 11/02/24).
- Arksey, H. and O'Malley, L. (2007). Scoping studies: towards a methodological framework. International Journal of Social Research Methodology. Vol.8(1), p. 19-32. Tilgængelig hos: doi: [10.1080/1364557032000119616](https://doi.org/10.1080/1364557032000119616). (Besøgt d. 17/02/24).
- Armeni, P., Polat, I., Rossi, L.M.D., Diaferia, L., Mergalli, S. and Gatti, A. (2022). Digital Twins in Healthcare: Is It the Beginning of a New Era of Evidence-Based Medicine? A Critical Review. Journal of Personalized Medicine. Vol.12:1255, p. 1-14. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9410074/pdf/jpm-12-01255.pdf>. (Besøgt d. 08/02/24).
- Attaran, M. and Celik, B.G. (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. Elsevier Decision Analytics Journal. Vol.6, p. 1-10. Tilgængelig hos: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277266222300005X>. (Besøgt d. 28/03/24).
- Awrahman, B.J., Fatah, C.A. and Hamaamin, M.Y. (2022). A review of the Role and Challenges of Big Data in Healthcare Informatics and Analytics. National Library of Medicine. Vol.2022(5317760), p. 1-10. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9536942/>. (Besøgt d. 11/02/24).
- Baillargeon, B., Rebelo, N., Fox, D.D., Taylor, R.L. and Kuhl, E. (2014). The Living Heart Project: A Robust and integrative simulator for human heart function. National Library of

- Medicine. Vol.48, p. 38-47. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4175454/pdf/nihms589535.pdf>. (Besøgt d. 08/02/24).
- Batarseh, F.A., Ghassib, I., Chong, D.S. and Su, P.H. (2020). Preventive healthcare policies in the US: solutions for disease management using Big Data Analytics. Journal of Big Data. Vol.7(1):38, p. 1-25. Tilgængelig hos: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7309216/pdf/40537_2020_Article_315.pdf. (Besøgt d. 15/02/24).
 - Batko, K. and Ślezak, A. (2022). The use of Big Data Analytics in healthcare. National Library of Medicine. Vol.9(1), p. 1-24. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8733917/>. (Besøgt d. 14/02/24).
 - Benedictis, A.D., Mazzocca, N., Somma, A. and Strigaro, C. (2023). Digital Twins in Healthcare: An Architectural Proposal and Its Application in a Social Distancing Case Study. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 5143 – 5154. Tilgængelig hos: doi; [10.1109/JBHI.2022.3205506](https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3205506). (Besøgt d. 04/02/24).
 - Bidoli, C., Pegoraro, V., Mas, F.D., Bagnoli, C., Bert, F., Bonin, M., Butturini, G., Cobiainchi, L., Cordiano, C., Minto, G., Pilerici, C., Stocco, P., Zantedeschi, M. and Campostrini, S. (2023). Virtual hospitals: The future of the healthcare system? An expert consensus. National Library of Medicine, 1-13. Tilgængelig hos: doi: 10.1177/1357633X231173006. (Besøgt d. 07/02/24).
 - Bongaarts, J. (2009). Human population growth and the demographic transition. National Library of Medicine. Vol. 27(1532), p. 2985-2990. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2781829/>. (Besøgt d. 04/02/24).
 - Boulos, M.N.K. and Zhang, P. (2021). Digital Twins: From Personalised Medicine to Precision Public Health. Journal of Personalized Medicine. Vol.11(8), p. 1-12. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8401029/pdf/jpm-11-00745.pdf>. (Besøgt d. 13/03/24).
 - Brinkmann, S. and Tanggaard, L. (2020). Kvalitative metode – en grundbog. 3rd ed. Hans Reitzels forlag.
 - Brown, G.W., Bridge, G., Martini, J., Um, J., Williams, O.D., Choupe, L.B.T., Rhodes, N., Ho, Z.J.M., Chungong, S. and Kandel, N. (2022). National Library of Medicine. The role of health systems for health security: a scoping review revealing the need for improved conceptual and practical linkages. Vol.18(51), p. 1-17. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9107590/>. (Besøgt d. 17/02/24).
 - Burnham, J.F. (2006). Scopus database: a review. Biomedical Digital Libraries. Vol.3(1), p. 1-8. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1420322/pdf/1742-5581-3-1.pdf>. (Besøgt d. 20/02/24).

- Cavalieri, S. and Gambadoro, S. (2023). Proposal of Mapping Digital Twins Definition Language to Open Platform Communications Unified Architecture. National Library of Medicine. Vol.23(4), p. 1-27. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36850947/>. (Besøgt d. 18/02/24).
- Cellina, M., Cé, M., Alí, M., Irmici, G., Ibba, S., Caloro, E., Fazzini, D., Oliva, D. and Papa, S. (2023). Digital Twins: The New Frontier for Personalized Medicine? Applied sciences, MDPI. Vol. 13(13), p. 1-13. Tilgængelig hos: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/13/7940>. (Besøgt d. 27/03/24).
- Chen, D., AlNajem, N.A. and Shorfuzzaman, M. (2022). Digital twins to fight against COVID-19 pandemic. ScienceDirect, Internet of Things and Cyber-Physical Systems. Vol.2, p. 70-81. Tilgængelig hos: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266734522200013X>. (Besøgt d. 05/02/24).
- Chen, Z., Liang, N., Zhang, H., Li, H., Yang, Y., Zong, X., Chen, Y., Wang, Y. and Shi, N. (2023). Harnessing the power of clinical decision support systems: challenges and opportunities. National Library of Medicine. Vol.10(2), p. 1-11. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38016787/>. (Besøgt d. 11/02/24).
- Chomutare, T., Tejedor, M., Svenning, T.O., Marco-Ruiz, L., Tayefi, M., Lind, K., Godtliebsen, F., Moen, A., Ismail, L., Makhlysheva, A. and Ngo, P.D. (2022). Artificial Intelligence Implementation in Healthcare: A Theory-Based Scoping Review of Barriers and Facilitators. National Library of Medicine. Vol.19(23), p. 1-18. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9738234/>. (Besøgt d. 30/04/24).
- Chung-Lee, L. and Catallo, C. (2023). A new approach to digital health? Virtual COVID-19 care: A scoping review. National Library of Medicine. Vol.9, p. 1-28. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9926398/>. (Besøgt d. 04/02/24).
- Cresswell, K.M., Bates, D.W. and Sheikh, A. (2013). Ten key considerations for the successful implementation and adoption of large-scale health information technology. National Library of Medicine. Vol.20, p. e9-e13. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3715363/>. (Besøgt d. 01/05/24).
- Dang, L.M., Piran, M.J., Han, D., Min, K. and Moon, H. (2019). A Survey on Internet of Things and Cloud Computing for Healthcare. Jorunal Electronics. Vol. 8(7), 768; p.1-49. Tilgængelig hos: <https://doi.org/10.3390/electronics8070768>. (Besøgt d. 09/02/24).
- Danmarks Statistik, 2020. 59 pct. flere over 80 år i 2030. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=30674>. (Besøgt d. 08/02/24).

- Danmarks Statistik, 2023. Befolkningstal. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/borgere/befolkning/befolkningsfremskrivning>. (Besøgt d. 01/02/24).
- Dash, S., Shakyawar, S.K., Sharma, M. and Kaushik, S. (2019). Big data in healthcare: management, analysis and future prospects. Journal of Big Data. Vol.54(6), p.1-25. Tilgængelig hos: <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-019-0217-0>. (Besøgt d. 10/02/24).
- Data Dynamics Inc. (2024). Quick Bytes: Amplifying Manufacturing Excellence: Unveiling Five Advantages of Cloud-Based Digital Twin Technology. Tilgængelig hos: <https://www.datadynamicsinc.com/quick-bytes-amplifying-manufacturing-excellence-unveiling-five-advantages-of-cloud-based-digital-twin-technology/>. (Besøgt d. 18/02/24).
- Davenport, T. and Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. National Library of Medicine. Vol.6(2), p. 94-98. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6616181/>. (Besøgt d. 02/03/24).
- Dawson, N.L., Hull, B.P., Viapura, P., Dumitrascu, A.G., Ball, C.T., Thiemann, K.M., Maniaci, M.J. and Burton, M.C. (2021). Home Telemonitoring to Reduce Reasmission of High-Risk Patients: a Modified Intention-to-Treat Randomized Clinical Trail. National Library of Medicine. Vol.36(11), p. 3395-3401. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8606403/>. (Besøgt d. 16/02/24).
- Doctor, E., Kewleoh, C., Buck, C. and Eymann, T. (2021). Towards a Taxonomy of digital twin applications for telemedical healthcare. Research-in-Progress Papers, p. 1-12. Tilgængelig hos: https://web.archive.org/web/20220801212724id_/https://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=ecis2021_rip. (Besøgt d. 15/02/24).
- Drummond, D. and Coulet, D. (2022). Technical, Ethical, Legal, and Societal Challenges With Digital Twin Systems for the Management of Chronic Diseases in Children and Young People. National Library of Medicine. Vol.24(10), p. 1-14. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36315239/>. (Besøgt d. 29/03/24).
- Durrani, H. (2016). Healthcare and healthcare systems: inspiring progress and future prospects. National Library of Medicine. Vol.2(3), s. 1-13. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5344175/>. (Besøgt d. 01/02/24).
- Eltawil, F.A., Atalla, M., Boulos, E., Amirabadi, A. and Tyrrell, P.N. (2023). Analyzing Barriers and Enablers for the Acceptance of Artificial Intelligence Innovations into Radiology Practice: A Scoping Review. National Library of Medicine. Vol.9(4), p. 1443-1455. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmid/37624108/>. (Besøgt d. 30/04/24).

- Erol, E., Mendi, A.F. and Dogan, D. (2020). The Digital Twin Revolution in Healthcare. IEEE Xplore. 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), p. 1-7. Tilgængelig hos: <https://ieeexplore-ieee-org.zorac.aub.aau.dk/document/9255249>. (Besøgt d. 03/05/24).
- EUROPEAN COMMISSION, 2023. Demographic change in Europe: a toolbox for action. [online]. Tilgængelig hos: https://commission.europa.eu/document/download/5efbf426-93f5-4b68-b650-1e37fdcb24ba_en?filename=COM_2023_577_1_EN.pdf&prefLang=da. (Besøgt d. 01/02/24).
- Filip, R., Puscaselu, R.G., Norocel, L.A., Dimian, M. and Savage, W.K. (2022). Global Challenges to Public Health Care Systems during the COVID-19 Pandemic: A Review of Pandemic Measures and Problems. National Library of Medicine, 12(8): 1295. Tilgængelig hos: doi: [10.3390/jpm12081295](https://doi.org/10.3390/jpm12081295). (Besøgt d. 04/02/24).
- Fuller, A., Fan, Z., Day, C. and Barlow, C. (2020). Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access. Vol.8, p. 108952-108971. Tilgængelig hos: doi: [10.1109/ACCESS.2020.2998358](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358). (Besøgt d. 28/03/24).
- Gemert-Pijnen, J.L.V. (2022). Implementation of health technology: Directions for research and practice. National Library of Medicine. Vol.4(1030194), p. 1-4. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9685419/>. (Besøgt d. 01/05/24).
- Glasdam, S. (2015). Bachelorprojekter indenfor det sundhedsfaglige område – indblik i videnskabelige metoder. 2nd ed. Kbh.: Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck.
- Haleem, A., Javid, M., Singh, R.P., Suman, R. and Rab, S. (2021). Blockchain technology applications in healthcare: An overview. ScienceDirect, International Journal of Intelligent Networks. Vol.2, p. 130-139. Tilgængelig hos: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266660302100021X>. (Besøgt d. 29/05/24).
- Huang, P.H., Kim, K.H. and Schermer, M. (2022). Ethical Issues of Digital Twins for Personalized Health Care Service: Preliminary Mapping Study. National Library of Medicine. Vol.24(1). Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8844982/>. (Besøgt d. 08/02/24).
- Højgaard, B. and Kjellberg, J. (2017). Fem megatrends der udfordrer fremtidens sundhedsvæsen. Det Nationale Institut for Kommuner og Regioners Analyse og Forskning. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.regioner.dk/media/4739/kora-fem-megatrends-der-udfordrer-fremtidens-sundhedsvaesen.pdf>. (Besøgt d. 04/02/24).
- IEEE – IEEE Advancing Technology for Humanity. (2022). [online]. Tilgængelig hos: <https://www.ieee.org/about/at-a-glance.html>. (Besøgt d. 20/02/24).

- JBI – JOANNA BRIGGS INSTITUTE. (2014). Supporting Document for the Joanna Briggs Institute Levels of Evidence and Grades of Recommendation. [online]. Tilgængelig hos: <https://jbi.global/sites/default/files/2019-05/JBI%20Levels%20of%20Evidence%20Supporting%20Documents-v2.pdf>. (Besøgt d. 19/02/24).
- JBIa – JOANNA BRIGGS INSTITUTE. (2017). Checklist for Systematic Reviews and Research Syntheses. [online]. Tilgængelig hos: https://jbi.global/sites/default/files/2019-05/JBI_Critical_Appraisal-Checklist_for_Systematic_Reviews2017_0.pdf. (Besøgt d. 21/02/24).
- JBIB – JOANNA BRIGGS INSTITUTE. (2017). Checklist for Qualitative Research. [online]. Tilgængelig hos: https://jbi.global/sites/default/files/2019-05/JBI_Critical_Appraisal-Checklist_for_Qualitative_Research2017_0.pdf. (Besøgt d. 21/02/24).
- Katsoulakis, E., Wang, Q., Wu, H., Shahriyari, L., Fletcher, R., Liu, J., Achenie, L., Liu, H., Jackson, P., Xiao, Y., Syeda-Mahmood, T., Tuli, R. and Deng, J. (2024). Digital twins for health: a scoping review. National Library of Medicine. Vol.7(1), p. 1-11. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38519626/>. (Besøgt d. 22/04/24).
- Kelly, L. and Pierre-Hansen, N.S. (2008). So many databases, such little clarity: Searching the literature for the topic aboriginal. National Library of Medicine. Vol.54(11), p. 1572-1573. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmid/19005131/>. (Besøgt d. 20/02/24).
- Khan, A., Milne-Ives, M., Meinert, E., Iyawa, G.E., Jones, R.B. and Josephraj, A.N. (2022). A Scoping Review of Digital Twins in the Context of the Covid-19 Pandemic. National Library of Medicine. Vol.13, p. 1-11. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9136438/>. (Besøgt d. 03/02/24).
- Korteling, J.E.H., van de Boer-Visschedijk, G.C, Blankendaal, R.A.M., Boonekamp, R.C. and Eikelboom, A.R. (2021). Human- versus Artificial Intelligence. Frontiers in Artificial Intelligence. Vol.4: 622364, p. 1-13. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8108480/pdf/frai-04-622364.pdf>. (Besøgt d. 08/02/24).
- Kristensen, H.K., Kielsgaard, K., Peoples, H., Hansen, A.Ø., Karlsen, A.M., Minet, L.R., Larsen, P., Larsen, S.T. and Pedersen, T.J. (2021). Evidensbaseret praksis. Forskning, brugerperspektiv, praksisviden. Gyldendal. (Besøgt d. 13/02/24).
- Lee, D. and Yoon, S.N. (2021). Application of Artificial Intelligence-Based Technologies in the Healthcare Industry: Opportunities and Challenges. International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol.18(1):271, p. 1-18. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7795119/pdf/ijerph-18-00271.pdf>. (Besøgt d. 10/02/24).

- Liu, Y., Zhang, L., Yang, Y., Zhou, L., Ren, L., Wang, F., Liu, R., Pang, Z. and Deen, M.J. (2019). A Novel Cloud-Based Framework for the Elderly Healthcare Services Using Digital Twin. IEEE Access. Vol.7, p. 49088-49101. Tilgængelig hos: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8686260>. (Besøgt d. 08/02/24).
- Mak, S. and Thomas, A. (2022). Steps for Conducting a Scoping Review. National Library of Medicine. Vol.14(5), p. 565-567. Tilgængelig hos: doi: [10.4300/JGME-D-22-00621.1](https://doi.org/10.4300/JGME-D-22-00621.1). (Besøgt d. 17/02/24).
- Meijer, C., Uh, H.W. and Bouhaddani, S.E. (2023). Digital Twins in Healthcare: Methodological Challenges and Opportunities. Journal of Personalized Medicine. Vol.13(10), p. 1-15. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10608065/pdf/jpm-13-01522.pdf>. (Besøgt d. 29/03/24).
- Meijer, C.D., Wouterse, B., Polder, J. and Koopmanschap, M. (2013). The effect of population aging on health expenditure growth: a critical review. European Journal of ageing, Vol. 10(4), p.353-361. Tilgængelig hos: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/zorac.aub.aau.dk/pmc/articles/PMC5549212/pdf/10433_2013_Article_280.pdf. (Besøgt d. 05/02/24).
- Meskó, B., Drobni, Z., Béneyi, É., Gergely, B. and Györffy, Z. (2017). Digital health is a cultural transformation of traditional healthcare. National Library of Medicine. Vol.3(23), p.1-8. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5682364/pdf/mh-03-2017.08.07.pdf>. (Besøgt d. 15/02/24).
- Meskó, B., Hetényi, G. and Györffy, Z., 2018. Will artificial intelligence solve the human resource crisis in healthcare? BMC Health Serv Res 18, 545. Tilgængelig hos: <https://doi.org/10.1186/s12913-018-3359-4>. (Besøgt d. 05/02/24).
- Mihai, S., Yaqoob, M., Hung, D.V., Davis, W., Towakel, P., Raza, M., Karamanoglu, M., Barn, B., Shetve, D., Prasad, R.V., Venkataraman, H., Trestian, R. and Nguyen H.X. (2022). Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, Vol. 24(4), p. 2255-2291. Tilgængelig hos: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9899718>. (Besøgt d. 27/03/24).
- Mohapatra, S. and Bose, S. (2020). An appraisal of literature for design and implementation of developing a framework for digital twin and validation through case studies. Health Technol. Vol.10, p. 1229-1237. Tilgængelig hos: doi: [10.1007/s12553-020-00443-4](https://doi.org/10.1007/s12553-020-00443-4). (Besøgt d. 25/03/24).
- Moztafzadeh, O., Jamshidi, M.B., Sargolzaei, S., Jamshidi, A., Baghalipour, N., Moghani, M.M. and Hauer, L. (2023). Metaverse and Healthcare: Machine Learning-Enabled Digital Twins of Cancer. National Library of Medicine. Vol.10(4):455, p.1-23. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10136137/>. (Besøgt d. 08/05/24).

- Naresh, V.S., Pericherla, S.S., Murty, P.S.R. and Reddi, S. (2020). Internet of Things in Healthcare: Architecture, Applications, Challenges, and Solutions. International Journal of Computer Systems Science & Engineering. Vol. 35(6), p. 411-421. Tilgængelig hos: https://cdn.techscience.cn/uploads/attached/file/20201211/20201211004923_25523.pdf. (Besøgt d. 09/02/24).
- Nascimento, I.J.B.D., Abdulazeem, H., Vasanthan, L.T., Martinez, E.Z., Zucoloto, M.L., Østengaard, L., Azzoparadi-Muscat, N., Zapata, T. and Novillo-Ortiz, D. (2023). Barriers and facilitators to utilizing digital health technologies by healthcare professionals. National Library of Medicine. Vol.6(161), p. 1-28. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10507089/>. (Besøgt d. 01/05/24).
- Olczak, J., Pavlopoulos, J., Priis, J., Lipma, F.F.A., Doornberg, J.N., Lundström, C., Hedlund, J. and Gordon, M. (2021). Presenting artificial intelligence, deep learning, and machine learning studies to clinicians and healthcare stakeholders: an introductory reference with a guideline and a Clinical AI Research (CAIR) checklist proposal. National Library of Medicine. 92(5), p. 513–525. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33988081/>. (Besøgt d. 11/02/24).
- Paré, G., Jaana, M. and Sicotte, C. (2007). Systematic Review of Home Telemonitoring for Chronic Diseases: The Evidence Base. National Library of Medicine. Vol.14(3), p. 269-277. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2244878/pdf/269.S1067502707000515.main.pdf>. (Besøgt d. 15/02/24).
- Peters, M.D.J., Marnie, C., Colquhoun, H., Garritty, C.M., Hempel, S., Horslev, T., Langlois, E.V., Lillie, E., O'Brien, K.K., Tuncalp, Ö., Wilson, M.G., Zarin, W. and Tricco, A.C. (2021). Scoping reviews: reinforcing and advancing the methodology and application. BMC Part of Springer Nature. Vol.10(263), p. 1-6. Tilgængelig hos: <https://systematicreviewsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13643-021-01821-3>. (Besøgt d. 19/02/24).
- Popa, E.O., Hilten, M.V., Oosterkamp, E. and Bogaardt, M.J. (2021). The use of digital twins in healthcare: socio-ethical benefits and socio-ethical risks. Life Sciences, Society and Policy. Vol.17(6), p. 1-25. Tilgængelig hos: <https://lsspjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40504-021-00113-x>. (Besøgt d. 30/03/24).
- Prisma-Statement, (2020). *PRISMA*. [online]. Tilgængelig hos: <http://prisma-statement.org/PRISMAStatement/FlowDiagram>. (Besøgt d. 21/02/24).
- Regioner, 2023. Danske Regioner – Vi skal bruge kunstig intelligens til at forbedre sundheds-væsnet. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.regioner.dk/services/nyheder/2023/september/vi-skal-bruge-kunstig-intelligens-til-at-forbedre-sundhedsvaesenet/>. (Besøgt d. 09/02/24).

- Saddik, A.E. (2018). Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies. IEEE Xplore. Vol.25(2), p. 87-92. Tilgængelig hos: [10.1109/MMUL.2018.023121167](https://doi.org/10.1109/MMUL.2018.023121167). (Besøgt d. 16/02/24).
- Sahal, R., Alsamhi, S.H. and Brown, K.N. (2022). Person Digital Twin: A Close Look into the Present and Step towards the Future of Personalised Healthcare Industry. National Library of Medicine. Vol.22(15), p. 1-35. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35957477/>. (Besøgt d. 26/03/24).
- Schiavone, F. and Ferretti, M. (2021). The FutureS of healthcare. National Library of Medicine. Vol.134(102849), p. 1-14. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8461037/>. (Besøgt d. 02/02/24).
- Schultz, K., Vickery, H., Campbell, K., Wheeldon, M., Barrett-Beck, L. and Rushbrook, E. (2021). Implementation of a virtual ward as a response to the COVID-19 pandemic. National Library of Medicine, 45(4):433-441. Tilgængelig hos: doi: [10.1071/AH20240](https://doi.org/10.1071/AH20240). (Besøgt d. 07/02/24).
- Shaheen, N., Shaheen, A., Ramadan, A., Hefnawy, T., Ramadan, A., Ibrahim, I.A., Hasanein, M.E., Ashour, M.E. and Flouty, O. (2023). Appraising systematic reviews: a comprehensive guide to ensuring validity and reliability. National Library of Medicine. Vol.8(1268045), p. 1-9. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10764628/>. (Besøgt d. 22/02/24).
- Sharma, S., Rawal, R. and Shah, D. (2023). Addressing the challenges of AI-based telemedicine: Best practices and lessons learned. National Library of Medicine. Vol.12(338), p. 1-9. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10671014/>. (Besøgt d. 17/02/24).
- Siddique, S. and Chow, J.C.L. (2020). Artificial intelligence in radiotherapy. National Library of Medicine. Vol.25(4), p. 656-666. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7321818/>. (Besøgt d. 30/04/24).
- Siemens – Siemens Healthineers. 2022. A patient twin to protect John's heart. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.siemens-healthineers.com/perspectives/patient-twin-johns-heart>. (Besøgt d. 16/02/24).
- Solimini, R., Busardó, F.P., Gibelli, F., Sirignano, A. and Ricci, G. (2021). Ethical and Legal Challenges of Telemedicine in the Era of the Covid-19 Pandemic. National Library of Medicine. Vol.57(12), p. 1-10. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8705012/pdf/medicina-57-01314.pdf>. (Besøgt d. 16/02/24).

- SSI - Statens Serum Institut. (2020). Udbrud af lungebetændelse med ny coronavirus (COVID-19) – Status 19. februar 2020. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.ssi.dk/aktuelt/nyheder/2020/udbrud-af-lungebetandelse-med-ny-coronavirus-covid-19-status>. (Besøgt d. 03/02/24).
- SSI – Statens Serum Institut. (2022a). Da covid-19 ramte verden og Danmark – se tidslinjen her. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.ssi.dk/aktuelt/nyheder/2022/da-covid-19-ramte-verden-og-danmark-se-tidslinjen-her>. (Besøgt d. 03/02/24).
- SSI – Statens Serum Institut. (2022b). Tidslinje for covid-19. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.ssi.dk/-/media/arkiv/subsites/covid19/presse/tidslinje-over-covid-19/covid-19-tidslinje-lang-for-2020-2022-version-2---december-2022.pdf>. (Besøgt d. 03/02/24).
- Stahlberg, E.A., Abdel-Rahman, M., Aguilar, B., Asadpoure, A., Beckman, R.A., Borkon, L.L., Bryan, J.N., Cebulla, C.M., Chang, Y.H., Chatterjee, A., Deng, J., Dolatshahi, D., Gevaert, O., Greenspan, E.J., Hao, W., Hernandez-Boussard, T., Jackson, P.R., Juijjer, M., Lee, A., Macklin, P., Madhavan, S., McCoy, M.D., Mirzaei, N.M., Razzaghi, T., Rocha, H.L., Shahriyari, L., Shmulevich, I., Stover, D.G., Sund, Y., Syeda-Mahmood, T., Wang, J., Wang, Q. and Zervantonakis, I. (2022). Exploring approaches for predictive cancer patient digital twins: Opportunities for collaboration and innovation. National Library of Medicine. Vol.4(1007784), p. 1-10. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9586248/>. (Besøgt d. 08/05/24).
- Stoumpos, A.L., Kitsios, F. and Talias, M.A. (2023). Digital Transformation in Healthcare: Technology Acceptance and Its Applications. National Library of Medicine. Vol.20(4), p. 1-44. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9963556/>. (Besøgt d. 17/02/24).
- Sun, T., He, X. and Li, Z. (2023). Digital twin in healthcare: Recent updates and challenges. National Library of Medicine. Vol.9, p. 1-13. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9830576/>. (Besøgt d. 26/03/24).
- Sun, T., He, X., Song, X., Shu, L. and Li, Z. (2022). The Digital Twin in Medicine: A Key to the Future of Healthcare? National Library of Medicine. Vol.9(907066), p. 1-8. Tilgængelig hos: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9330225/pdf/fmed-09-907066.pdf>. (Besøgt d. 25/04/24).
- Sundhedsstyrelsen, 2022. Forskning til styrkelse af indsatsen i det primære sundhedsvæsen. sst.dk. Tilgængelig hos: <https://www.sst.dk/-/media/Udgivelser/2022/Primære-sundhedsvæsen/Forskning-til-styrkelse-af-indsatsen-i-det-primære-sundhedsvæsen---marts-2020.ashx>. (Besøgt d. 06/02/24).

- Tao, F., Zhang, H., Liu, A. and Nee, A.Y.C. (2019). Digital Twin in industry: state-of-the-art. IEEE Xplore. Vol.15, 2405–2415. Tilgængelig hos: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>. (Besøgt d. 03/02/24).
- Thompson, R.F., Valdes, G., Fuller, C.D, Carpenter, C.M., Morin, O., Aneja, S., Lindsay, W.D., Aerts, H.J.W.L., Agrimson, B., Deville, D., Rosenthal, S.A., Yu, J.B. and Thomas, C.R. (2018). Artificial intelligence in radiation oncology: A specialty-wide disruptive transformation? ScienceDirect, ELSEVIR. Vol.129(3), p. 421-426. Tilgængelig hos: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167814018302895?casa_token=rox9w8bZtawAAAAA:vVgIUyR8_tj_p0P9Jcr5D9hvgxsxIHt-BYnZbMR4uLs7TP7aZxcZLUtfMWHZ6AaTSFM94Crmf. (Besøgt d. 02/05/24).
- Vallée, A. (2023). Digital twin for healthcare systems. National Library of Medicine, 1-6. Tilgængelig hos: doi: [10.3389/fdgth.2023.1253050](https://doi.org/10.3389/fdgth.2023.1253050). (Besøgt d. 03/02/24).
- Vilstrup, D.L. and Bennich, B.B. (2014). Basal epidemiologi og statistik. 1. udgave. Gyldendal.
- Westphaln, K.K., Regoeczi, W., Masotya, M., Westphaln-Vazquez, B., Lounsbury, K., McDavid, L., Lee, H., Johnson, J. and Ronis, S.D. (2021). From Arksey and O'Malley and Beyond: Customizations to enhance a team-based, mixed approach to scoping review methodology. Elsevier. Vol.7(8):101375, p.1-14. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34430271/>. (Besøgt d. 17/02/24).
- WHO – World Health Organization, 2010. Development of medical device policies. [online]. Tilgængelig hos: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44600/9789241501637-eng.pdf?sequence=1>. (Besøgt d. 07/02/24).
- WHO – World Health Organization, 2015. WHO: Number of people over 60 years set to double by 2050; major societal changes required. [online]. Tilgængelig hos: <https://www.who.int/news/item/30-09-2015-who-number-of-people-over-60-years-set-to-double-by-2050-major-societal-changes-required>. (Besøgt d. 04/02/24).
- WHO – World Health Organization, 2023. WHO: Health workforce. [online]. Tilgængelig hos: https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_1. (Besøgt d. 15/02/24).
- Xames, M.D. and Topcu, T.G. (2024). A Systematic Literature Review of Digital Twin Research for Healthcare Systems: Research Trends, Gaps, and Realization Challenges. IEEE Access. Vol.12, p. 4099-4146. Tilgængelig hos: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10379674>. (Besøgt d. 26/03/24).

- Zavala, A.M., Day, G.E., Plummer, D. and Bamford-Wade, A. (2018). Decision-making under pressure: medical errors in uncertain and dynamic environments. National Library of Medicine. Vol.42(4), p. 395-402. Tilgængelig hos: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28578757/>. (Besøgt d. 08/02/24).
- AARHUS UNIVERSITET. (2024). Søgemetoder- og teknikker. [internet]. Tilgængelig hos: <https://studypedia.au.dk/informationssoegning/soegemetoder-og-teknikker>. (Besøgt d. 21/03/24).

Bilag

Bilag 1: Søgeprotokol til systematik litteratursøgning

Indhold	Protokol til systematik litteratursøgning
Fremgangsmåde	Bloksøgning med tre blokke, hvor der blev anvendt: - Boolske operatorer. - Synonymer. - Kædesøgning. - Kontrollerede emne- og fritekstord samt thesaurus.
Temaer + søgeblokke	Digitale tvillinger, sundhedsvæsenet samt udfordringer.
Inklusionskriterier	- Studier, der er engelsk-, dansk-, svensk- eller norsksproget. - Studier, der omhandler barrierer ved implementering af digitale tvillinger i sundhedsvæsenet. - Studier, hvor der kan indhentes fuldtekst.
Eksklusionskriterier	- Studier, der omhandler dyreforsøg. - Studier, der har fokus på digitale tvillingen udenfor sundhedsvæsenet.
Databaser	PubMed: Udgives af National Library of Medicine, og er en del af MEDLINE, og indeholder emner indenfor bl.a. biomedicin og sygepleje (Kelly & Pierre-Hansen, 2008). Embase: Udgives af Elsevier, og inkluderer den medicinske database MEDLINE. Endvidere indeholder Embase emner indenfor bl.a. farmakologi og folkesundhed. Sammen med PubMed fastlås de til at være de to største databaser indenfor det biomedicinske område (Ibid). IEEE Xplore: Database, som indeholder studier indenfor det teknologiske område (IEEE, 2022).

	Scopus: Database som også indeholder studier indenfor det teknologiske område (Burnham, 2006).
Udvælgelse og vurdering af studier	- Pba. titel og abstract ud fra in- og eksklusionskriterier. - Pba. fuldtekst ud fra in- og eksklusionskriterier. - Kvalitetsvurdering og scoring (JBI). - Analyse af data og tematisering, herunder udarbejdelse af matrix.

Bilag 1: Søgeprotokol til den systematiske litteratursøgning med indhold af fremgangsmåde, temaer + søgeblokke, inklusionskriterier, eksklusionskriterier, databaser samt udvælgelse og vurdering af studier.

Bilag 2a: Søgeprocessen i databasen PubMed

PubMed					
	Blok 1 Teknologi		Blok 2 Sundhedsvæsenet		Blok 3 Udfordringer
OR	"Digital twin*" [Text Word]	AND	"Healthcare" [Text Word] "Smart healthcare" [Text Word] "Healthcare system" [Text Word]	AND	Challenge* [Text Word]
Antal hits: 43			Dato for søgning: 06/03/24		

Bilag 2a: Søgeprocessen i databasen PubMed, herunder de tre blokke, antal hits samt dato for søgningen.

Bilag 2b: Søgeprocessen i databasen Scopus

Scopus					
	Blok 1 Teknologi		Blok 2 Sundhedsvæsenet		Blok 3 Udfordringer
OR	"Digital twin*" [Title-ABS-KEY]	AND	"Healthcare" [Title-ABS-KEY] "Smart healthcare" [Title-ABS-KEY] "Healthcare system" [Title-ABS-KEY]	AND	Challenge* [Title-ABS-KEY]
Antal hits: 193			Dato for søgning: 06/03/24		

Bilag 2b: Søgeprocessen i databasen Scopus, herunder de tre blokke, antal hits samt dato for søgningen.

Bilag 2c: Søgeprocessen i databasen IEEE Xplore

IEEE Xplore					
	Blok 1 Teknologi		Blok 2 Sundhedsvæsenet		Blok 3 Udfordringer
OR	"Digital twin*" [Title-ABS-KEY-MESH] "Digital twin*" [Title-ABS-KEY]	AND	"Healthcare" [Title-ABS-KEY-MESH] "Healthcare" [Title-ABS-KEY] "Smart healthcare" [Title-ABS-KEY] "Healthcare system" [Title-ABS-KEY-MESH] Healthcare system" [Title-ABS-KEY]	AND	Challenge* [Title-ABS-KEY]
Antal hits: 384			Dato for søgning: 06/03/24		

Bilag 2c: Søgeprocessen i databasen IEEE Xplore, herunder de tre blokke, antal hits samt dato for søgningen.

Bilag 3: Tabel til udarbejdelse af matrix i resultater

Matrix				
Titel	Forfatter og årstal	Formål	Studiedesign og kvalitet	Implementeringsbarrierer

Bilag 3: Tabellen visualiserer hvad matrixen skal indeholde til specialets resultatafsnit: titel, forfatter, årstal, formål, studiedesign og kvalitet samt implementeringsbarrierer.

Bilag 4: Tabel til visualisering af temaer i resultater

Temaer	Studier med indhold fra temaet	Kvalitet af studierne

Bilag 4: Tabellen visualiserer at der skal indgå temaer, studier med indhold fra temaet samt kvaliteten af studierne.

Bilag 5a: JBI kvalitetsvurderingstjekliste til de inkluderede studier, reviews

JBI CRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR REVIEWS

	Yes	No	Unclear	Not applicable
1. Is the review question clearly and explicitly stated?	☐	☐	☐	☐
2. Were the inclusion criteria appropriate for the review question?	☐	☐	☐	☐
3. Was the search strategy appropriate?	☐	☐	☐	☐
4. Were the sources and resources used to search for studies adequate?	☐	☐	☐	☐
5. Were the criteria for appraising studies appropriate?	☐	☐	☐	☐
6. Was critical appraisal conducted by two or more reviewers independently?	☐	☐	☐	☐
7. Were there methods to minimize errors in data extraction?	☐	☐	☐	☐
8. Were the methods used to combine studies appropriate?	☐	☐	☐	☐
9. Was the likelihood of publication bias assessed?	☐	☐	☐	☐
10. Were recommendations for policy and/or practice supported by the reported data?	☐	☐	☐	☐
11. Were the specific directives for new research appropriate?	☐	☐	☐	☐

Bilag 5a: Tjekliste for studier med review design (JBIa, 2017).

Bilag 5b: JBI kvalitetsvurderingstjekliste til de inkluderede studier, kvalitativt

JBI CRITICAL APPRAISAL CHECKLIST FOR QUALITATIVE RESEARCH

	Yes	No	Unclear	Not applicable
1. Is there congruity between the stated philosophical perspective and the research methodology?	☐	☐	☐	☐
2. Is there congruity between the research methodology and the research question or objectives?	☐	☐	☐	☐
3. Is there congruity between the research methodology and the methods used to collect data?	☐	☐	☐	☐
4. Is there congruity between the research methodology and the representation and analysis of data?	☐	☐	☐	☐
5. Is there congruity between the research methodology and the interpretation of results?	☐	☐	☐	☐
6. Is there a statement locating the researcher culturally or theoretically?	☐	☐	☐	☐
7. Is the influence of the researcher on the research, and vice- versa, addressed?	☐	☐	☐	☐
8. Are participants, and their voices, adequately represented?	☐	☐	☐	☐
9. Is the research ethical according to current criteria or, for recent studies, and is there evidence of ethical approval by an appropriate body?	☐	☐	☐	☐
10. Do the conclusions drawn in the research report flow from the analysis, or interpretation, of the data?	☐	☐	☐	☐

Bilag 5b: Tjekliste for studier med kvalitativt design (JBIb, 2017).